



PROYECTO FIN DE CARRERA PLAN 2000

E.U.I.T. TELECOMUNICACIÓN

TEMA: Estudio de la Fiabilidad

TÍTULO: Estudio de la Fiabilidad de diodos LEDs rojos mediante ensayos acelerados

AUTOR: Iván García Pereda

TUTOR: Manuel Vázquez López **Vº Bº.**

DEPARTAMENTO: ELECTRÓNICA FÍSICA

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE: Ángel Groba Gonzalez

VOCAL: Manuel Vázquez López

VOCAL SECRETARIO: Neftalí Núñez Mendoza

DIRECTOR:

Fecha de lectura: 24 de Enero de 2014

Calificación: **El Secretario,**

RESUMEN DEL PROYECTO:

El objetivo de este Proyecto Final de Carrera es la realización de un ensayo de fiabilidad de componentes electrónicos, más concretamente de diodos LED, con el fin de estudiar su comportamiento a lo largo del tiempo de vida. Debido a la larga duración de los LEDs, un ensayo de este tipo podría durar años, por lo que es necesario realizar un ensayo acelerado que acorte significativamente el tiempo del experimento, para ello, han de someterse a esfuerzos mayores que en condiciones normales de funcionamiento.

Los LEDs utilizados en este Proyecto son de AlInGaP, rojos, de alta luminosidad. Para acelerar el ensayo, se utilizará una cámara climática que simule unas condiciones ambientales aceleradas determinadas, en concreto, 85° C y 85% HR. Además, se realiza una monitorización periódica, siendo necesaria la utilización de un sistema automático de medida diseñado en LabVIEW, el cual, de manera simultánea realizará medidas y gestionará la inyección de corriente a los LEDs mientras se encuentren en el interior de la cámara climática.

Se crean 4 tiras de LEDs para inyectar un nivel de corriente diferente en cada una y así poder comparar la degradación en función de este parámetro.

Fuera de la cámara climática se van a obtener las curvas características de tensión-corriente de cada LED a una temperatura ambiente constante, fijada por un módulo Peltier. También se realizarán medidas de potencia luminosa y de espectro de emisión.

Se analizarán los resultados obtenidos de cada una de las medidas y se realizará un estudio de fiabilidad y del proceso de degradación sufrido por los LEDs.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Universitaria de
Ingeniería Técnica de Telecomunicación



PROYECTO FIN DE CARRERA

**ESTUDIO DE LA FIABILIDAD DE DIODOS LEDS
ROJOS MEDIANTE ENSAYOS ACELERADOS**

Iván García Pereda

Enero 2014

DEDICADO

*A mis padres,
por su apoyo incondicional*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, José Miguel y Charo, por haberme dado la oportunidad de llegar hasta aquí.

A D. Manuel Vázquez, por haberme brindado la oportunidad de trabajar con él, por su paciencia y su gran ayuda.

A D. Neftalí Núñez, por toda la ayuda prestada.

A todos mis compañeros de clase, que me han enseñado lo que es el compañerismo, que me han acompañado durante tantísimo tiempo en los laboratorios, en las horas de estudio en la biblioteca, realizando trabajos,... sin ellos, no habría sido igual.

Al mejor equipo de fútbol que ha pasado por la EUITT, "SuperNenas CF", los más salados y divertidos, que han hecho que mi paso por la universidad haya sido mucho más ameno.

A Soraya por su inmejorable compañía y apoyo.

En general, a todos los que han estado a mi lado todos estos años, ¡GRACIAS!

RESUMEN

El objetivo de este Proyecto Final de Carrera es la realización de un ensayo de fiabilidad de componentes electrónicos, más concretamente de diodos LED, con el fin de estudiar su comportamiento a lo largo del tiempo de vida. Debido a la larga duración de los LEDs, un ensayo de este tipo podría durar años, por lo que es necesario realizar un ensayo acelerado que acorte significativamente el tiempo del experimento, para ello, han de someterse a esfuerzos mayores que en condiciones normales de funcionamiento.

En la actualidad, los LEDs son usados en infinidad de aplicaciones, debido a sus múltiples ventajas respecto a otros sistemas de iluminación o señalización convencionales. En numerosos casos se utilizan en el exterior, soportando cambios de temperaturas y de humedad elevados, de ahí, la importancia de realizar ensayos de fiabilidad, que muestren sus posibles causas de fallo, los efectos que producen estos fallos y los aspectos de diseño, fabricación y mantenimiento que puedan afectarles. Como consecuencia del envejecimiento de los LEDs, pueden mostrar una reducción en el flujo luminoso y un empeoramiento de las propiedades cromáticas.

Los LEDs utilizados en este Proyecto son de AlInGaP, rojos, de alta luminosidad. Para acelerar el ensayo, se utilizará una cámara climática que simule unas condiciones ambientales determinadas, en concreto, 85° C y 85% HR. Además, se realiza una monitorización periódica, siendo necesaria la utilización de un sistema automático de medida diseñado en LabVIEW, el cual, de manera simultánea realizará medidas y gestionará la inyección de corriente a los LEDs mientras se encuentren en el interior de la cámara climática.

Se fabrican dos placas con 4 tiras de LEDs para inyectar un nivel de corriente diferente en cada una y así poder comparar la degradación en función de este parámetro.

Fuera de la cámara climática se van a medir las curvas características de tensión-corriente de cada LED a una temperatura ambiente constante, fijada por un módulo Peltier. También se realizarán medidas de potencia luminosa y de espectro de emisión.

Se analizarán los resultados obtenidos de cada una de las medidas y se realizará un estudio de fiabilidad y del proceso de degradación sufrido por los LEDs.

Este PFC se puede dividir en las siguientes fases de trabajo, siendo el ensayo la parte más larga en el tiempo:

- Búsqueda de bibliografía, documentación y normas aplicables.

- Familiarización con los equipos y software, estudiando el manejo y funcionamiento de la cámara climática temperatura-humedad y el software a aplicar (LabVIEW y software del espectrómetro).
- Desarrollo del hardware y sistemas necesarios para la realización del ensayo.
- Realización del ensayo.
- Análisis de resultados.

ABSTRACT

The objective of this end of degree project is conducting an essay reliability of electronic components, more concretely LEDs, in order to study their behavior throughout its lifespan. Due to the long duration of the LEDs, a essay of this type could last for years, so it is necessary to perform an accelerated essay which significantly shorten the time of the experiment, testing should be subjected to greater efforts than in normal operation.

Today, LEDs are used in many applications due to its many advantages over other conventional lighting systems or signaling. In numerous cases are used on the outside, enduring high changes in temperature and humidity, hence the importance of reliability essays, showing the possible causes of failure, the effects produced by these failures and aspects of design, manufacturing and maintenance that may affect them. As a result of the ageing of the LEDs, they may show a reduction in light output and a worsening of the chromatic properties.

The LEDs used in this project are AlInGaP, red and high brightness. To speed up the essay will be used a climatic chamber to simulate specific environmental conditions, specifically 85 °C and 85 % RH. In addition, is performed a periodic monitoring using an automatic measurement system designed in LabVIEW, which, simultaneously will performed measurements and will manage the injection current to the LEDs while are inside of the climatic chamber.

4 strips of LEDs are created to inject a different level of current in each, so can compare the degradation in terms of this parameter.

Out of the climatic chamber are obtained the characteristic curves of voltage-current of each LED at a constant room temperature, set by a Peltier module. Also, measures light power and the emitted spectrum.

The results of each of the measures and a reliability study and degradation suffered by the LEDs will be discussed.

This PFC can be divided into the following steps, the essay being the longest part:

- Search bibliography, documentation and standards.
- Familiarization with equipment and software, studying the management and the operation of the temperature-humidity environmental chamber and applying software (LabVIEW applications and spectrometer software).
- Development of hardware and systems necessary for the conduct of the essay.
- Carrying out the essay.
- Analysis of results.

ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

La memoria se ha organizado de la siguiente manera:

- Parte teórica: Capítulos 1, 2 y 3.
- Desarrollo del ensayo: Capítulo 4.
- Presentación y análisis de resultados: Capítulos 5 y 6.

ÍNDICE

1. EL LED	2
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 CONDUCTIVIDAD Y MATERIALES	3
1.3 DIODO.....	5
1.3.1 INTRODUCCIÓN	5
1.3.2 LA UNIÓN P-N	5
1.3.3 CURVA CARACTERÍSTICA	9
1.3.4 MODELO MATEMÁTICO	12
1.3.5 TIEMPO DE CONMUTACIÓN.....	12
1.4 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UN DIODO LED.....	13
1.5 ÓPTICA.....	15
1.5.1 LA LUZ	15
1.5.2 EL COLOR	16
1.6 HISTORIA DE LOS LEDS.....	17
1.7 COMPONENTES DE UN LED	22
1.8 EFICIENCIA LUMINOSA	23
1.9 VENTAJAS E INCONVENIENTES	24
1.10 APLICACIONES	26
1.11 CONCLUSIONES CAPÍTULO 1.....	28
2. LA FIABILIDAD	30
2.1 INTRODUCCIÓN.....	30
2.2 CONCEPTOS PREVIOS	31
2.2.1 MÉRITO DE UN SISTEMA.....	31
2.2.2 PROBABILIDAD.....	32
2.2.3 EFECTIVIDAD DE UN SISTEMA.....	33
2.3 DEFINICIÓN DE FIABILIDAD	33
2.4 CONCEPTO DE FALLO.....	34
2.4.1 FALLOS CATASTRÓFICOS Y POR DEGRADACIÓN.....	35
2.4.2 FALLOS INICIALES, POR DESGASTE Y ALEATORIOS.....	36
2.4.3 FALLOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS	36
2.5 ESFUERZO DE COMPONENTES	37

2.6 MECANISMOS DE FALLO PRINCIPALES Y MÉTODOS DE PROTECCIÓN	37
2.7 FIABILIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	40
2.7.1 FUNCIÓN DENSIDAD DE PROBABILIDAD Y DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA...	41
2.7.2 FUNCIÓN DE FIABILIDAD.....	42
2.7.3 FIABILIDAD CONDICIONADA	43
2.7.4 FUNCIÓN DE LA TASA DE FALLOS.....	44
2.7.5 VIDA MEDIA	44
2.7.6 MEDIANA Y MODA	44
2.8 DISTRIBUCIONES.....	45
2.8.1 INTRODUCCION	45
2.8.2 PARÁMETROS	46
2.8.3 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS EN LAS DISTRIBUCIONES.....	47
2.8.4 CURVA DE LA BAÑERA	47
2.8.5 DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL	49
2.8.6 DISTRIBUCIÓN NORMAL	50
2.8.7 DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL	51
2.8.8 DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL	53
2.9 DISTRIBUCION DE WEIBULL	53
2.9.1 PROPIEDADES ESTADÍSTICAS.....	54
2.9.2 CARACTERÍSTICAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL	55
2.9.2.1 EFECTO DE β	56
2.9.2.2 EFECTO DE η	60
2.9.2.3 EFECTO DE γ	61
2.9.3 TRAZADO DE LA PROBABILIDAD	61
2.10 CONCLUSIONES CAPÍTULO 2.....	63
3. ENSAYOS.....	66
3.1 INTRODUCCIÓN	66
3.2 CLASES DE ENSAYOS DE FIABILIDAD.....	66
3.2.1 ENSAYOS DE MEDICIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE LA FIABILIDAD.....	66
3.2.2 ENSAYOS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS.....	67
3.2.3 ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN DE MODOS Y MECANISMOS DE FALLO	67
3.2.4 ENSAYOS DE CRIBADO	68
3.3 ENSAYOS DE VIDA.....	69
3.3.1 INTRODUCCIÓN	69
3.3.2 HIPÓTESIS DE DISTRIBUCIÓN.....	69
3.3.3 ESFUERZOS Y CONDICIONES AMBIENTALES	69
3.3.4 PROGRAMAS DE ENSAYOS DE FIABILIDAD.....	70
3.4 ENSAYOS ACELERADOS DE VIDA	71
3.4.1 INTRODUCCIÓN	71
3.4.2 ENSAYOS ACELERADOS CUALITATIVOS.....	71
3.4.3 ENSAYOS ACELERADOS CUANTITATIVOS.....	72

3.4.3.1	MÉTODO DE TASA DE ACELERACIÓN	72
3.4.3.2	ACELERACIÓN POR SOBREENFUERZO	73
3.4.3.3	ANÁLISIS DE DATOS	73
3.4.4	MÉTODO DE ANÁLISIS	74
3.4.5	NIVELES DE ESFUERZO	75
3.4.5.1	NIVELES DE ESFUERZO INDEPENDIENTES DEL TIEMPO	76
3.4.5.2	NIVELES DE ESFUERZO DEPENDIENTES DEL TIEMPO	76
3.5	CONCLUSIONES CAPÍTULO 3.....	77
4.	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	80
4.1	INTRODUCCIÓN DEL ENSAYO.....	80
4.2	ENTORNO DE TEST	80
4.2.1	INSTRUMENTACIÓN	81
4.2.1.1	CÁMARA CLIMÁTICA HERAUS VOSTCH VK 108/250	81
4.2.1.2	FUENTE DE ALIMENTACIÓN AGILENT E3631A	83
4.2.1.3	FUENTE DE ALIMENTACIÓN XANTREX XDL 35-5TP	85
4.2.1.4	FUENTE DE ALIMENTACIÓN BK PRECISION 1672	87
4.2.1.5	MULTÍMETRO KEITHLEY 2700	88
4.2.1.6	TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS KEITHLEY 7700.....	90
4.2.1.7	MULTÍMETRO AGILENT 34410	92
4.2.1.8	MEDIDOR ÓPTICO ANRITSU MS9020B.....	93
4.2.1.9	TARJETA DE RELÉS	95
4.2.1.10	USB-6501 DE NATIONAL INSTRUMENTS.....	96
4.2.1.11	ESPECTRÓMETRO MIGHTEX SSE-1304-U.....	97
4.2.1.12	PCs	99
4.2.1.13	INTERFAZ DE COMUNICACIONES GPIB	100
4.2.2	HARDWARE.....	101
4.2.2.1	LEDs HLMP-ED31-SV0DD	101
4.2.2.2	TARJETAS DE LEDS, CABLEADO Y CONECTORES.....	105
4.2.2.3	SENSOR DE TEMPERATURA PT-100	108
4.2.2.4	SENSOR DE HUMEDAD HONEYWELL HIH-4000-003	109
4.2.2.5	CABLES	111
4.2.2.6	CÉLULA PELTIER.....	111
4.2.2.7	OTRO CABLEADO.....	112
4.2.3	SOFTWARE	113
4.2.3.1	SOFTWARE MIGHTEX	113
4.2.3.2	EXCEL.....	120
4.2.3.3	ORIGIN.....	121
4.2.3.4	LABVIEW	121
	PROGRAMA LABVIEW 1:	122
	PROGRAMA LABVIEW 2:	132
4.3	DESARROLLO DEL ENSAYO.....	135
4.3.1	FASE INICIAL.....	135
4.3.1.1	ENTORNO DE TRABAJO DEL ENSAYO PARA LA GESTIÓN EN EL INTERIOR DE LA CÁMARA CLIMÁTICA	137

4.3.1.2 ENTORNO DE TRABAJO DEL ENSAYO PARA LA GESTIÓN EN EL EXTERIOR DE LA CÁMARA CLIMÁTICA	138
4.3.2 FASE DE CONFIGURACIÓN	139
4.3.2.1 CONFIGURACIÓN DE LA CAMARA CLIMATICA	139
4.3.2.2 CONFIGURACIÓN SOFTWARE DE LABVIEW	141
PROGRAMA LABVIEW 1:	141
PROGRAMA LABVIEW 2:	145
PROGRAMA ESPECTRÓMETRO:	146
4.3.3 FASE DE DESARROLLO.....	147
4.3.3.1 DEGRADACIÓN Y MEDIDAS INTERNAS	147
4.3.3.2 MEDIDAS EXTERNAS	148
4.4 CONCLUSIONES CAPITULO 4.....	155
5. RESULTADOS.....	158
5.1 INTRODUCCIÓN.....	158
5.2 POTENCIA ÓPTICA	158
5.2.1 RESULTADOS	159
5.2.2 REPRESENTACIÓN GRAFICA	162
5.3 ESPECTRO	173
5.3.1 RESULTADOS	173
5.3.2 REPRESENTACIÓN GRAFICA	175
5.4 CURVAS I/V INTERIOR	183
5.4.1 RESULTADOS	183
5.4.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA	185
5.5 CURVAS I/V EXTERIOR	191
5.5.1 RESULTADOS	191
5.5.2 REPRESENTACIÓN GRAFICA	192
5.6 CONCLUSIONES CAPÍTULO 5.....	196
6. CONCLUSIONES.....	198
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	201

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1:

FIGURA 1.1: DIODOS LED DE INSERCCIÓN.....	2
FIGURA 1.2: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE METALES Y NO METALES.....	4
FIGURA 1.3: ESTRUCTURA CRISTALINA DEL SILICIO.	5
FIGURA 1.4: UNIÓN PN EN EQUILIBRIO TÉRMICO SIN TENSIÓN DE POLARIZACIÓN.....	7
FIGURA 1.5: POLARIZACIÓN INVERSA DEL DIODO.	9
FIGURA 1.6: CURVA CARACTERÍSTICA DEL DIODO.	10
FIGURA 1.7: GRÁFICA DE CONMUTACIÓN DEL DIODO.	13
FIGURA 1.8: RECOMBINACIÓN DE LOS ELECTRONES	14
FIGURA 1.9: REPRESENTACIÓN DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA EN UN INSTANTE DETERMINADO. 15	
FIGURA 1.10: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO DE LA LUZ VISIBLE POR EL HOMBRE, SEGÚN LONGITUD DE ONDA.....	16
FIGURA 1.11: TEMPERATURA DE COLOR DE LA LUZ.	17
FIGURA 1.12: LA PRIMERA PATENTE DEL DIODO LED CREADO EN 1927 POR EL CIENTÍFICO RUSO OLEG VLADIMIROVICH LOSEV.	17
FIGURA 1.13: NICK HOLONYAK, PADRE DEL LED MODERNO.	18
FIGURA 1.14: SHUJI NAKAMURA, INVENTOR DEL LED AZUL	20
TABLA 1.1: MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE DIODOS LED.....	21
FIGURA 1.15: COMBINACIÓN DE COLORES RGB.	21
FIGURA 1.16: COMPONENTES DE UN DIODO LED.....	22
FIGURA 1.17: COMPARATIVA DE DURABILIDAD.....	23
FIGURA 1.18: COMPARATIVA DE EFICIENCIA.	24
FIGURA 1.19: METÁFORA DE LA OBSOLESCENCIA DE LAS BOMBILLAS TRADICIONALES.	24
FIGURA 1.20: LUCES DE POSICIÓN.	26
FIGURA 1.22: PANTALLA EN FREEMONT STREET EN LAS VEGAS.....	27
FIGURA 1.23: SEMÁFORO Y PANELES INFORMATIVOS.	27

CAPÍTULO 2:

FIGURA 2.1: FUNCIÓN DE PROBABILIDAD.....	41
FIGURA 2.2: RELACIÓN TÍPICA ENTRE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA Y LA FUNCIÓN DE DENSIDAD.	42
FIGURA 2.3: REPRESENTACIÓN GRÁFICA GENERAL DE LOS PARÁMETROS DE FIABILIDAD.	45
FIGURA 2.4: CURVA DE BAÑERA DE DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES.	48
FIGURA 2.5: CURVA DE BAÑERA SEGÚN LOS TIPOS DE DISPOSITIVOS.	49
FIGURA 2.6: FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL.	50
FIGURA 2.7: FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD PARA LA	51
FIGURA 2.8: FUNCIONES Y PARÁMETROS DE LA FIABILIDAD.	52
FIGURA 2.9: FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD EN FUNCIÓN DE β	57
FIGURA 2.10: FUNCIÓN DE FIABILIDAD EN FUNCIÓN DE β	58
FIGURA 2.11: FUNCIÓN DE LA TASA DE FALLOS EN FUNCIÓN DE β	59
FIGURA 2.12: FUNCIÓN WEIBULL DEPENDIENTE DEL VALOR DE H.....	60
FIGURA 2.13: DIAGRAMA DE WEIBULL Y EXTRACCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA FUNCIÓN.....	62

CAPÍTULO 3:

TABLA 3.1: TABLA DE CARACTERÍSTICAS DE VIDA TÍPICAS.....	75
--	----

CAPÍTULO 4:

FIGURA 4.1: CÁMARA HERAUS VOSTCH VK 108/250. ASPECTO FÍSICO.....	81
FIGURA 4.2: PANEL DE MANDO DE LA CÁMARA. ASPECTO FÍSICO.....	82
FIGURA 4.3: FUENTE DE ALIMENTACIÓN AGILENT 3631A. ASPECTO FÍSICO.....	83
TABLA 4.1: TABLA DE PRECISIÓN Y RESOLUCIÓN, AGILENT 3631A. DATASHEET.....	84
FIGURA 4.4: FUENTE DE ALIMENTACIÓN XANTREX XDL 35-5TP. ASPECTO FÍSICO.....	85
FIGURA 4.5: FUENTE DE ALIMENTACIÓN XANTREX XDL 35-5TP. DATASHEET.....	85
FIGURA 4.6: FUENTE DE ALIMENTACIÓN BK PRECISION 1672. ASPECTO FÍSICO.....	87
FIGURA 4.7: MULTÍMETRO KEITHLEY 2700. ASPECTO FÍSICO.....	88
FIGURA 4.8: KEITHLEY 7700.....	90
FIGURA 4.9: ESQUEMA INTERNO KEITHLEY 7700. DATASHEET.....	91
FIGURA 4.10: MULTÍMETRO AGILENT 34410. ASPECTO FÍSICO.....	92
FIGURA 4.11: ANRITSU MS9020B. ASPECTO FÍSICO.....	93
TABLA 4.2: SENSOR ÓPTICO ANRITSU MA9421A. CARACTERÍSTICAS DATASHEET.....	94
FIGURA 4.12: SENSOR ÓPTICO ANRITSU MA9421A.....	94
FIGURA 4.13: RELÉS OMRON G5LA – 12 V.....	95
FIGURA 4.14: TARJETA DE RELÉS. ASPECTO FÍSICO.....	95
FIGURA 4.15: NI USB-6501. ASPECTO FÍSICO. DATASHEET.....	96
FIGURA 4.16: ESPECTRÓMETRO MIGHTEX SSE-1304-U. ASPECTO FÍSICO.....	97
FIGURA 4.17: ÓPTICA SSE-1304-U.....	98
FIGURA 4.18: ESFERA INTEGRADORA. ASPECTO FÍSICO.....	99
FIGURA 4.19: PC PUESTO COMÚN. MEDIDAS EXTERNAS A LA CÁMARA CLIMÁTICA.....	99
FIGURA 4.20: PC PUESTO INDIVIDUAL. MEDIDAS INTERNAS A LA CÁMARA CLIMÁTICA.....	100
FIGURA 4.21: INTERFAZ USB/GPIB AGILENT 82357B.....	100
FIGURA 4.22: ADAPTADOR IEEE-488 GPIB.....	100
FIGURA 4.23: ASPECTO FÍSICO LED HLMP-ED31-SV0DD.....	102
FIGURA 4.24: DIMENSIONES.....	103
TABLA 4.3: CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS/ÓPTICAS. (DATASHEET HLMP-EXXX).....	103
FIGURA 4.25: VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS.....	104
FIGURA 4.26: ESPECTRO.....	104
FIGURA 4.27: CORRIENTE/TENSIÓN.....	104
FIGURA 4.28: LUMINOSIDAD RELATIVA/CORRIENTE.....	105
FIGURA 4.29: CORRIENTE MÁXIMA PERMITIDA/TEMPERATURA.....	105
FIGURA 4.30: TARJETAS DE LEDS. ASPECTO FÍSICO.....	106
FIGURA 4.31: VISTA DE SOLDADURA.....	106
FIGURA 4.32: TARJETAS DE LEDS, CABLEADO Y CONECTORES. ASPECTO FÍSICO.....	107
FIGURA 4.33: PLACA UNIPRINT Y CONECTOR DE 10 PINES.....	107
FIGURA 4.34: CONEXIÓN DEL CABLEADO DE MEDIDA.....	107
FIGURA 4.35: CONEXIÓN DE LA TARJETA DEL MULTÍMETRO.....	108
FIGURA 4.36: CONECTOR DE 6 PINES PARA ALIMENTACIÓN.....	108
TABLA 4.4: TABLA DE RELACIÓN TEMPERATURA-RESISTENCIA PT-100.....	109
FIGURA 4.37: PT-100 EN EL INTERIOR DE LA CÁMARA.....	109
FIGURA 4.38: HIGRÓMETRO. ASPECTO FÍSICO.....	110
FIGURA 4.39: ESQUEMA DE USO DEL HIGRÓMETRO.....	110

FIGURA 4.40: CABLES UTILIZADOS.	111
FIGURA 4.41: MÓDULO PELTIER. ASPECTO FÍSICO.	112
FIGURA 4.42: CONECTOR. ASPECTO FÍSICO.	113
FIGURA 4.43: SOFTWARE DEL ESPECTRÓMETRO.	113
FIGURA 4.44: INTERFAZ PRINCIPAL DE USUARIO.	114
FIGURA 4.45: BARRA DE HERRAMIENTAS.	115
FIGURA 4.46: MODO GRÁFICO.	117
FIGURA 4.47 MODO TABLA.	117
FIGURA 4.48: MODO CROMÁTICO.	118
FIGURA 4.49: ÁREA DE CONTROL.	120
FIGURA 4.50: EXCEL 2010.	120
FIGURA 4.51: ORIGIN 8.	121
FIGURA 4.52: LABVIEW 2012.	121
FIGURA 4.53: COMUNICACIÓN ENTRE LOS GESTORES.	123
FIGURA 4.54: DIAGRAMA DE ESTADOS.	124
FIGURA 4.55: PESTAÑA DE CONTROL.	125
FIGURA 4.56: PESTAÑA DE RELÉS.	126
FIGURA 4.57: PESTAÑA DE TEMPORIZACIÓN.	126
FIGURA 4.58: PESTAÑA DE ESTADO.	127
FIGURA 4.59: PESTAÑA DE ESTADO.	128
FIGURA 4.60: PESTAÑA DE LA CURVA I-V.	128
FIGURA 4.61: DIAGRAMA DE ESTADOS GESSUPPLY.	129
FIGURA 4.62: DIAGRAMA DE ESTADOS GESSWITCH.	130
FIGURA 4.63: DIAGRAMA DE ESTADOS GESUSB.	130
FIGURA 4.64: DIAGRAMA DE ESTADOS GESTEST.	131
FIGURA 4.65: CONTROL DEL MÓDULO PELTIER.	132
FIGURA 4.66: VALORES DE TENSIÓN PARA LA CURVA I-V.	133
FIGURA 4.67: CONFIGURACIÓN DEL FICHERO DE SALIDA.	133
FIGURA 4.68: VISUALIZACIÓN DE PARÁMETROS INTERNOS.	134
FIGURA 4.69: INDICADORES DE MEDIDA TENSIÓN – INTENSIDAD.	134
FIGURA 4.70: GRÁFICA DE LA CURVA I-V.	134
FIGURA 4.71: PROGRAMA LABVIEW 2: CURVAS I-V.	135
TABLA 4.5: TABLA DE RELACIÓN TEMPERATURA-HUMEDAD, 85°C.	136
TABLA 4.6: TABLA DE RELACIÓN TEMPERATURA-HUMEDAD, 81°C.	137
FIGURA 4.72: DIAGRAMA ENTORNO INTERNO.	138
FIGURA 4.73: PASOS DE LA CONFIGURACIÓN DE LA CÁMARA.	140
FIGURA 4.74: DEPÓSITO DE AGUA DESIONIZADA DE LA CÁMARA CLIMÁTICA.	141
FIGURA 4.75: CONFIGURACIÓN DE LA FUENTE EN ESTADO DE DEGRADACIÓN.	142
FIGURA 4.76: CONFIGURACIÓN DE LA FUENTE EN ESTADO DE MEDIDA.	142
FIGURA 4.77: GESTIÓN RONDAS DE MEDIDA Y NOMBRE DEL TEST.	142
FIGURA 4.78: FICHEROS DE CONFIGURACIÓN.	142
FIGURA 4.79: CONFIGURACIÓN DE LOS RELÉS.	143
FIGURA 4.80: CONFIGURACIÓN DE TIEMPOS.	143
FIGURA 4.81: CONFIGURACIÓN DE LOS CANALES.	144
FIGURA 4.82: CONFIGURACIÓN CURVA I-V.	144
FIGURA 4.83: CONFIGURACIÓN DEL FICHERO DE SALIDA.	145
FIGURA 4.84: VISUALIZACIÓN DE CONFIGURACIÓN INTERNA.	145
FIGURA 4.85: CONFIGURACIÓN DE LA TENSIÓN DE LA CURVA.	146
FIGURA 4.86: CONFIGURACIÓN DEL ESPECTRÓMETRO.	146
FIGURA 4.87: TARJETAS DE LEDS EN SU FASE DE DEGRADACIÓN.	147

FIGURA 4.88: MULTÍMETRO KEITHLEY MIDIENDO.....	148
FIGURA 4.89: EQUIPO ANRITSU LISTO PARA MEDIR.	149
FIGURA 4.90: EJEMPLO DE MEDIDA DE POTENCIA ÓPTICA.	150
FIGURA 4.91: EJEMPLO DE MEDIDA DEL ESPECTRO. VISTA DE LA ESFERA INTEGRADORA.....	151
FIGURA 4.92: EJEMPLO DE LA GRÁFICA DEL ESPECTRO.	152
FIGURA 4.93: ASPECTO MEDICIÓN CURVA I/V. CONEXIÓN Y MÓDULO PELTIER.	153
FIGURA 4.94: CONFIGURACIÓN Nº DE DIODO Y RONDA.	154
FIGURA 4.95: GRÁFICA I/V.....	154

CAPÍTULO 5:

TABLA 5.1: VALORES MEDIDAS DE POTENCIA ÓPTICA.....	159
TABLA 5.2: POTENCIA LEDS 10 MA.....	160
TABLA 5.3: POTENCIA LEDS 20 MA.....	160
TABLA 5.4: POTENCIA LEDS 40 MA.....	161
TABLA 5.5: POTENCIA LEDS 0 MA.....	161
FIGURA 5.1: POTENCIA RELATIVA LEDS 10 MA.	163
FIGURA 5.2: POTENCIA RELATIVA LEDS 20 MA.	164
FIGURA 5.3: POTENCIA RELATIVA LEDS 40 MA.	165
TABLA 5.6: TABLA DE VALORES FINALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE POTENCIA ÓPTICA RELATIVA.	166
FIGURA 5.4: POTENCIA RELATIVA LEDS 0 MA.	166
FIGURA 5.5: VARIACIÓN MAX. Y MIN. DE POTENCIA. 0 MA.....	167
FIGURA 5.6: VARIACIÓN MAX. Y MIN. DE POTENCIA. 10 MA.....	168
FIGURA 5.7: VARIACIÓN MAX. Y MIN. DE POTENCIA. 20 MA.....	168
FIGURA 5.8: VARIACIÓN MAX. Y MIN. DE POTENCIA. 40 MA.....	169
FIGURA 5.9: POTENCIA RELATIVA MEDIA DE CADA RAMA DE CORRIENTE.....	170
FIGURA 5.10: MAX Y MIN DE POTENCIA FINAL. 10 MA.....	171
FIGURA 5.11: MAX Y MIN DE POTENCIA FINAL. 20 MA.....	172
FIGURA 5.12: MAX Y MIN DE POTENCIA FINAL. 40 MA.....	172
FIGURA 5.13: FICHERO DE TEXTO CON INFORMACIÓN DEL ESPECTRO.	174
FIGURA 5.14: IMPORTACIÓN DEL FICHERO DE TEXTO A EXCEL.	174
FIGURA 5.15: EVOLUCIÓN DEL ESPECTRO. LED 1 – 0 MA.....	175
FIGURA 5.16: EVOLUCIÓN DEL ESPECTRO. LED 2 – 0 MA.....	176
FIGURA 5.17: EVOLUCIÓN DEL ESPECTRO. LED 5 – 10 MA.....	177
FIGURA 5.18: EVOLUCIÓN DEL ESPECTRO. LED 6 – 10 MA.....	178
FIGURA 5.19: EVOLUCIÓN DEL ESPECTRO. LED 2 – 20 MA.....	179
FIGURA 5.20: EVOLUCIÓN DEL ESPECTRO. LED 3 – 20 MA.....	180
FIGURA 5.21: EVOLUCIÓN DEL ESPECTRO. LED 6 – 40 MA.....	181
FIGURA 5.22: EVOLUCIÓN DEL ESPECTRO. LED 7 – 40 MA.....	182
FIGURA 5.23: FICHERO DE RESULTADOS CURVAS I/V INTERNAS (.TXT).	184
FIGURA 5.24: FICHERO DE RESULTADOS CURVAS I/V INTERNAS (.XLS).	184
FIGURA 5.25: CURVA I/V INTERNA. LED 5 – 10 MA.....	185
FIGURA 5.26: CURVA I/V INTERNA. LED 6 – 10 MA.....	186
FIGURA 5.27: CURVA I/V INTERNA. LED 2 – 20 MA.....	187
FIGURA 5.28: CURVA I/V INTERNA. LED 3 – 20 MA.....	188
FIGURA 5.29: CURVA I/V INTERNA. LED 5 – 40 MA.....	189
FIGURA 5.30: CURVA I/V INTERNA. LED 6 – 40 MA.....	190
FIGURA 5.31: FICHERO DE RESULTADOS CURVAS I/V EXTERNAS (.TXT).	191
FIGURA 5.32: CURVA I/V EXTERNA. LED 1 – 0 MA.	192

FIGURA 5.33: CURVA I/V EXTERNA. LED 2 – 0 MA.	192
FIGURA 5.34: CURVA I/V EXTERNA. LED 5 – 10 MA.	193
FIGURA 5.35: CURVA I/V EXTERNA. LED 6 – 10 MA.	193
FIGURA 5.36: CURVA I/V EXTERNA. LED 2 – 20 MA.	194
FIGURA 5.37: CURVA I/V EXTERNA. LED 3 – 20 MA.	194
FIGURA 5.38: CURVA I/V INTERNA. LED 6 – 40 MA.	195
FIGURA 5.39: CURVA I/V INTERNA. LED 5 – 40 MA.	195

Capítulo 1

El LED

1. EL LED

1.1 INTRODUCCIÓN

LED, acrónimo inglés de “Light Emitting Diode”, es un componente optoelectrónico pasivo, más concretamente es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz cuasi-cromática, es decir, con un espectro bastante estrecho.

Casi todos estamos familiarizados con los LEDs, los distinguimos al verlos en muchos equipos de uso cotidianos, como radios, televisores, teléfonos móviles, displays de relojes digitales,... Anteriormente la falta de una amplia gama de colores y una baja potencia lumínica limitaron su uso considerablemente. No obstante eso ha cambiado gradualmente con la introducción de nuevos materiales que han permitido fabricar LEDs de prácticamente todo el espectro visible de colores y que ofrecen al mismo tiempo una eficiencia lumínica que supera a la de las lámparas incandescentes e incluso de las fluorescentes.

Estos brillantes, eficientes y coloridos nuevos LEDs están expandiendo su dominio a un amplio rango de aplicaciones de iluminación desplazando a su anterior campo de aplicación que era el de la mera indicación. Si consideramos su particularidad de bajo consumo energético y su casi imbatible ventaja para su uso en señalamiento exterior (carteles de mensaje variables y señales de tránsito) tendremos que el futuro de estos pequeños dispositivos semiconductores es realmente muy alentador.

En este capítulo se pretende dar una idea global de estos dispositivos electrónicos, su funcionamiento, su evolución a través del tiempo, sus principales características, ventajas, así como sus principales aplicaciones.

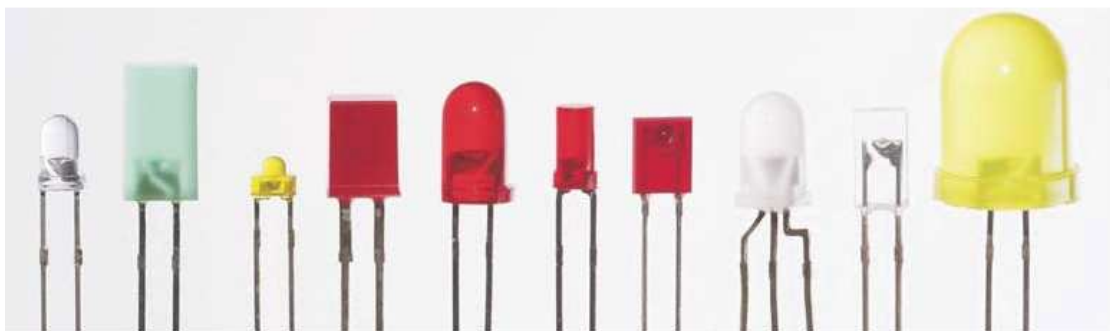


Figura 1.1: Diodos LED de inserción. (www.mikroe.com)

1.2 CONDUCTIVIDAD Y MATERIALES

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, su aptitud para dejar circular libremente las cargas eléctricas depende de la estructura atómica y molecular del material. Los metales son buenos conductores porque tienen una estructura con muchos electrones con vínculos débiles y esto permite su movimiento.

La conductividad es la inversa de la resistividad, por tanto,

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

y su unidad es el S/m (siemens por metro) o $\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

La conductividad también depende de otros factores físicos del propio material y de la temperatura.

Observando los materiales podemos establecer una clasificación de estos en función de su conductividad. Aparecen tres grandes grupos donde podemos englobar todos los materiales. Un primer grupo son los materiales conductores, otro grupo, los materiales aislantes y por último están los materiales semiconductores, (en este último grupo centraremos nuestra atención).

- **CONDUCTORES:** Son aquellos que tienen gran número de electrones en la Banda de Conducción, es decir, con gran facilidad para conducir la electricidad (gran conductividad). Todos los metales son conductores, unos mejores que otros. Buenos conductores son la plata, el cobre, el aluminio, el estaño. Malos conductores son el hierro y el plomo.
- **AISLANTES O DIELECTRICOS:** Son aquellos cuyos electrones están fuertemente ligados al núcleo y por tanto, son incapaces de desplazarse por el interior y, consecuentemente, de conducir. Buenos aislantes son por ejemplo, la mica, la porcelana, el poliéster, el aire.
- **SEMICONDUCTORES:** Algunas sustancias son poco conductoras, pero sus electrones pueden saltar fácilmente de la Banda de Valencia a la de Conducción, si se les comunica energía exterior: son los semiconductores, de gran importancia en la electrónica. Algunos ejemplos son el silicio, el germanio, el arseniuro de Galio.

El campo de aplicación de los materiales semiconductores es muy extenso: regulación de potencia, intensidad, tensión, rectificación o amplificación de

señal. Toda fuente de alimentación de precisión debe construirse inexorablemente con dispositivos semiconductores. Elementos como diodos, transistores o tiristores son habituales en los diseños electrónicos. Otros tipos de componentes para aplicaciones ópticas y de comunicación lo constituyen los fotodiodos, fototransistores, células fotovoltaicas y fotodetectoras, láseres semiconductores para comunicaciones por fibra óptica. Los avances en electrónica moderna en campos como las telecomunicaciones, informática y control asistido por ordenador, han sido propiciados por investigaciones y tecnología de procesamiento de semiconductores, con los que se han conseguido diseñar y construir circuitos integrados de alta capacidad de memoria y velocidad de procesamiento de las señales.

La figura 2 nos permite comparar la resistividad de algunos metales con la de los semiconductores; deducimos que el rango de conductividad en estos últimos materiales es más bajo que el de los metales. Los materiales semiconductores se pueden comportar como aislantes o conductores dependiendo de diversos factores, como por ejemplo el campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación que le incide, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre. Debido a ello, su aplicabilidad como material base para los dispositivos semiconductores para la industria electrónica es muy importante, ya que los valores de conductividad son los requeridos para una gran parte de las condiciones de funcionamiento, intensidad, voltaje y temperatura de trabajo, que se dan en los equipos electrónicos a las tensiones eléctricas actuales de funcionamiento.

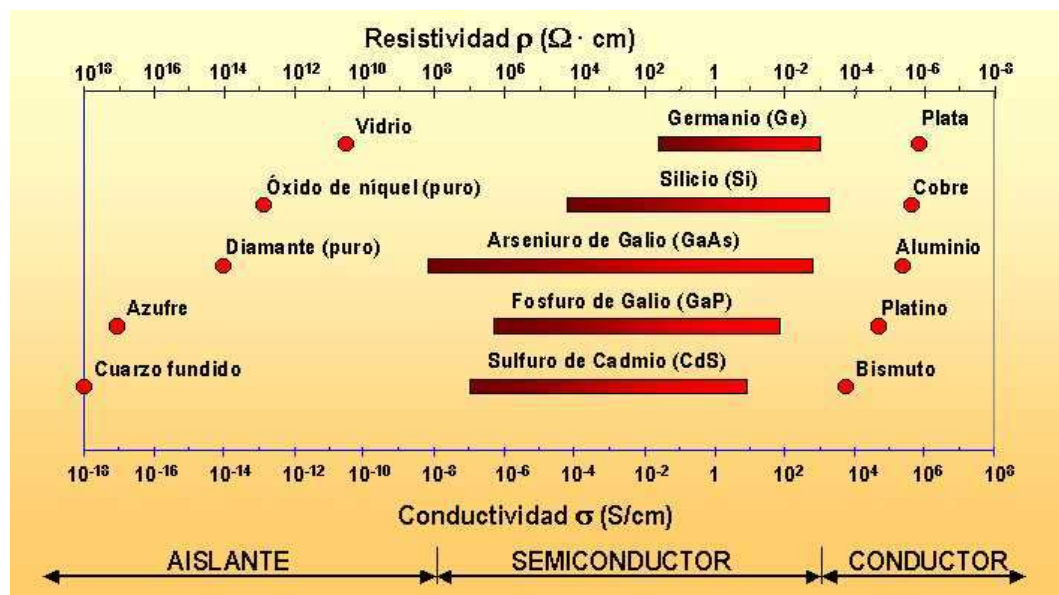


Figura 1.2: Conductividad eléctrica de metales y no metales. (www.upv.es)

1.3 DIODO

1.3.1 INTRODUCCIÓN

Un diodo es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido. Este término generalmente se usa para referirse al diodo semiconductor, el más común en la actualidad; consta de una pieza de cristal semiconductor conectada a dos terminales eléctricos.

Los primeros diodos eran válvulas o tubos de vacío, también llamados válvulas termoiónicas, constituidos por dos electrodos rodeados de vacío en un tubo de cristal, con un aspecto similar al de las lámparas incandescentes.

1.3.2 LA UNIÓN P-N

Materiales tipo P y tipo N

El silicio puro (intrínseco) es un material semiconductor, posee 4 electrones en su banda de valencia que enlazan los átomos entre sí mediante un enlace covalente (ver Figura 3). Cuando aportamos energía calorífica a un material semiconductor, como el silicio, algunos electrones se desprenden de la capa de valencia y pasan a ser electrones libres, dejando así un hueco. Un hueco es entonces el sitio que deja un electrón al abandonar la capa de valencia y convertirse en un electrón libre. Un electrón libre tiene un nivel energético mayor que un electrón orbitando en la capa de valencia. Cuando un electrón libre cae en un hueco, este libera energía y dicho proceso se llama recombinación.

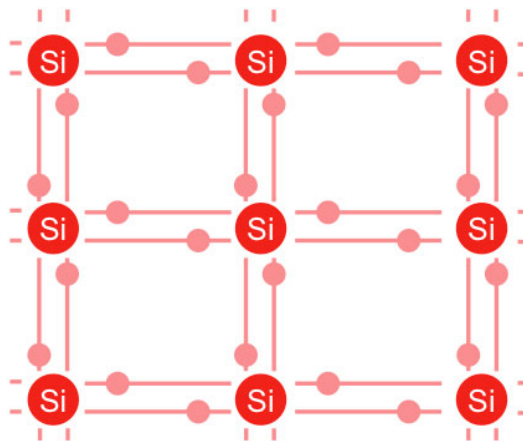


Figura 1.3: Estructura cristalina del silicio.

Silicio extrínseco tipo P:

Un material tipo P se consigue sustituyendo algunos átomos de semiconductor intrínseco, como el silicio, por átomos de un elemento con menor número de electrones en su capa de valencia, normalmente 3 (trivalente), como el boro.

Este proceso se llama dopado; se consigue así aumentar el número de huecos. Al sustituir algunos átomos de material intrínseco por otros de material extrínseco con menos electrones en la capa de valencia, algún átomo vecino cede un electrón para completar el enlace, y se produce así una circulación de electrones libres dentro de la red.

Silicio extrínseco tipo N:

Un semiconductor tipo N se consigue mediante un proceso de dopado añadiendo cierto tipo de elemento, normalmente pentavalente (5 electrones en la capa de valencia), al semiconductor para aumentar el número de electrones libres. Si un átomo con cinco electrones de valencia como por ejemplo el fósforo (P), el arsénico (As), o el antimonio (Sb), se incorpora a la red cristalina en el lugar de un átomo de silicio, entonces ese átomo tendrá cuatro enlaces covalentes y un electrón no enlazado. Este electrón extra da como resultado la formación de electrones libres, siendo el número de electrones libres superior al número de huecos, en este caso los huecos son los portadores minoritarios y los electrones son los portadores mayoritarios.

La barrera interna de potencial

Al unir material tipo N y tipo P, algunos electrones libres del lado N se recambian con huecos del lado P en un fenómeno llamado difusión. Al producirse la difusión, aparecen cargas en la zona de la unión, dicha zona se llama barrera interna de potencial. A medida que la difusión aumenta, la barrera de potencial se ensancha, y se genera un campo eléctrico que contrarresta el fenómeno de difusión hasta estabilizarlo (ver Figura 4). Este campo eléctrico es equivalente a decir que aparece una diferencia de potencial entre las zonas P y N. Esta diferencia de potencial (V_0) es de 0,7V en el caso del silicio y 0,3V si los cristales son de germanio (Ge) (ver Figura 4).

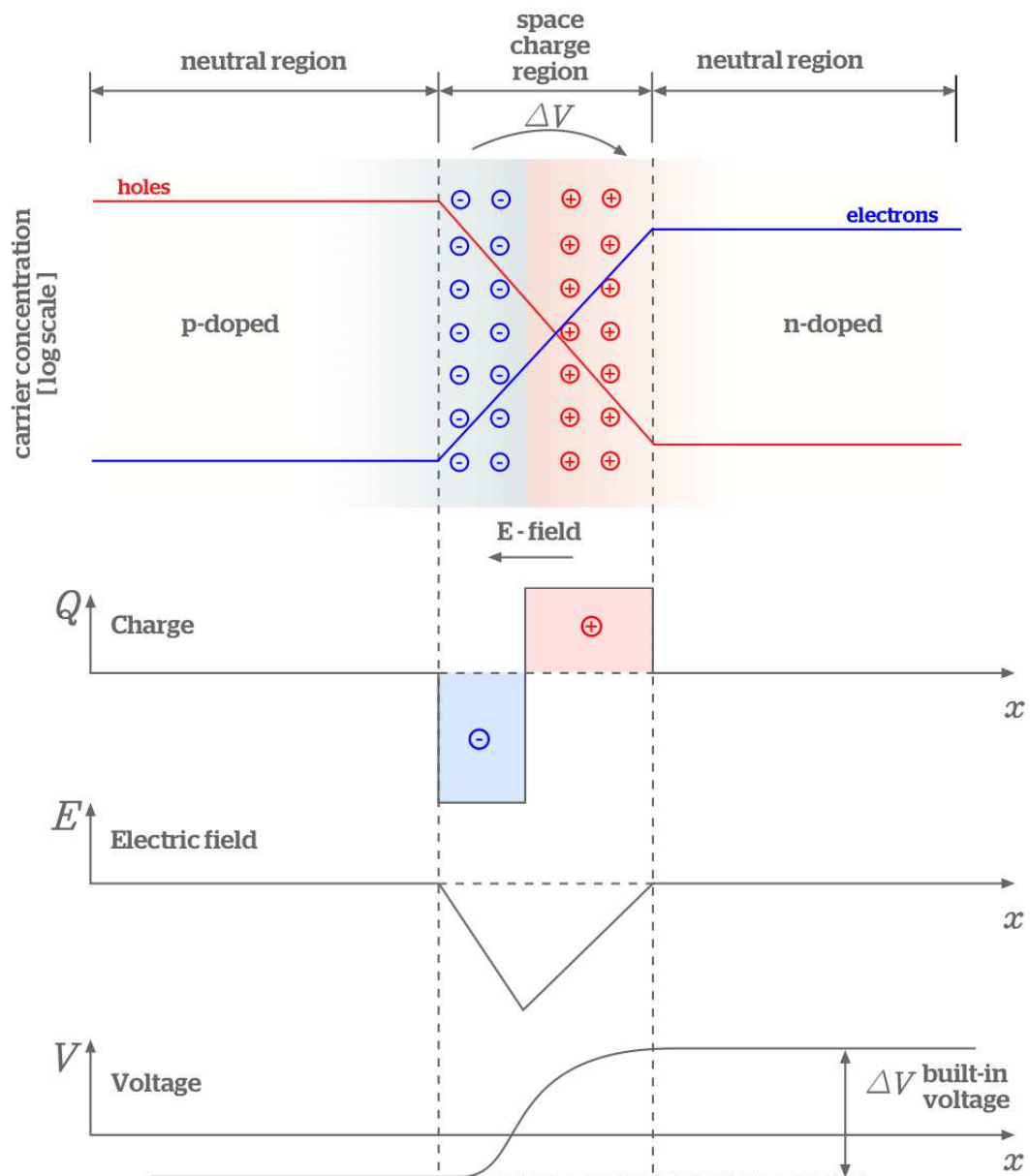


Figura 1.4: Unión PN en equilibrio térmico sin tensión de polarización. La concentración de electrones y huecos se representan con líneas azul y roja respectivamente. Las regiones grises tienen carga neutra. La zona azul tiene carga negativa y la roja tiene carga positiva. Bajo la unión, aparecen en forma de gráfica la densidad de carga, el campo eléctrico y la diferencia de potencial. (www.sakma.com)

Polarización directa de la Unión PN

Para que una unión PN esté polarizada directamente, hay que conectar el polo positivo de una batería al ánodo y el polo negativo al cátodo. En estas condiciones el polo negativo repele los electrones libres del cristal N, con lo que los electrones se dirigen hacia la unión PN. El polo positivo atrae a los

electrones de valencia del cristal P, lo cual equivale a decir que empuja a los huecos hacia la unión PN.

Cuando la diferencia de potencial entre los bornes de la batería supera el campo eléctrico de la barrera de potencial, los electrones libres del cristal N adquieren suficiente energía como para saltar a los huecos del cristal P, los cuales previamente, como ya se ha dicho, se han desplazado hacia la unión PN.

Polarización inversa de un diodo

En este caso, el polo negativo de la batería se conecta a la zona p y el polo positivo a la zona n, lo que hace aumentar la zona de carga espacial, y la tensión en dicha zona hasta que se alcanza el valor de la tensión de la batería, tal y como se explica a continuación:

- El polo positivo de la batería atrae a los electrones libres de la zona n, los cuales salen del cristal n y se introducen en el conductor dentro del cual se desplazan hasta llegar a la batería. A medida que los electrones libres abandonan la zona n, los átomos pentavalentes que antes eran neutros, al verse desprendidos de su electrón en el orbital de conducción, adquieren estabilidad y una carga eléctrica neta de +1, con lo que se convierten en iones positivos.
- El polo negativo de la batería cede electrones libres a los átomos trivalentes de la zona p. Recordemos que estos átomos solo tienen 3 electrones de valencia, con lo que una vez que han formado los enlaces covalentes con los átomos de silicio, tienen solamente 7 electrones de valencia, siendo el electrón que falta el denominado hueco. El caso es que cuando los electrones libres cedidos por la batería entran en la zona p, caen dentro de estos huecos, con lo que los átomos trivalentes adquieren estabilidad (8 electrones en su orbital de valencia) y una carga eléctrica neta de -1, convirtiéndose así en iones negativos.
- Este proceso se repite una y otra vez hasta que la zona de carga espacial adquiere el mismo potencial eléctrico que la batería.

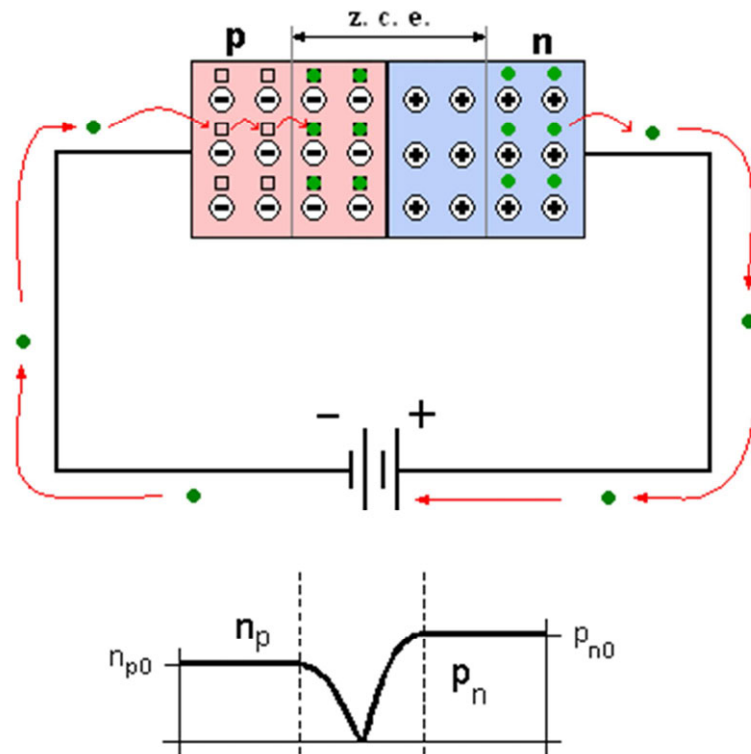


Figura 1.5: Polarización inversa del diodo. (Wikipedia – Diodo)

En esta situación, el diodo no debería conducir la corriente; sin embargo, debido al efecto de la temperatura se formarán pares electrón-hueco a ambos lados de la unión, produciendo una pequeña corriente (del orden de $1 \mu\text{A}$) denominada corriente inversa de saturación. Además, existe también una denominada corriente superficial de fugas, la cual, como su propio nombre indica, conduce una pequeña corriente por la superficie del diodo, ya que en la superficie los átomos de silicio no están rodeados de suficientes átomos para realizar los cuatro enlaces covalentes necesarios para obtener estabilidad. Esto hace que los átomos de la superficie del diodo, tanto de la zona n como de la p, tengan huecos en su orbital de valencia, con lo que los electrones circulan sin dificultad a través de ellos. No obstante, al igual que la corriente inversa de saturación, la corriente superficial de fuga es despreciable.

1.3.3 CURVA CARACTERÍSTICA

El diodo es, al fin y al cabo, un componente electrónico con ciertas características y parámetros que, dependiendo del material con el que está fabricado, tendrán unos u otros valores pero estos parámetros se repiten en cualquier tipo de diodo. Una manera gráfica y fácil de comprender el funcionamiento de este dispositivo es mediante su curva característica en la

cual se representan, perfectamente diferenciadas, todas las “zonas” o fase de funcionamiento que tiene el dispositivo dependiendo de la polarización recibida. A continuación se muestra un ejemplo de esta curva característica y se describe cada una de las zonas de funcionamiento del diodo.

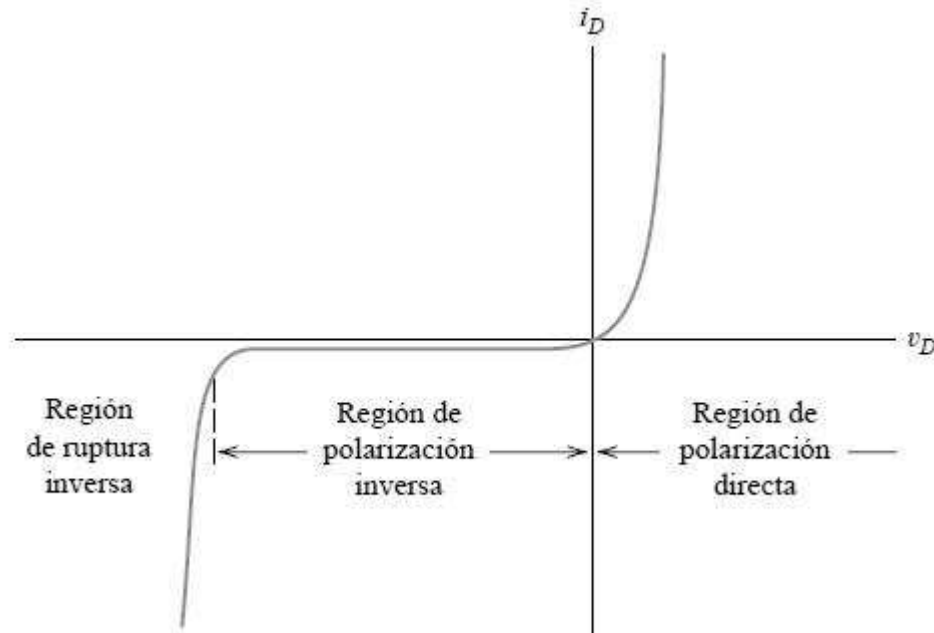


Figura 1.6: Curva característica del diodo. (www.omarai.wordpress.com)

- **Tensión umbral, de codo o de partida (V_d):** La tensión umbral (también llamada barrera de potencial) de polarización directa coincide en valor con la tensión de la zona de carga espacial del diodo no polarizado. Al polarizar directamente el diodo, la barrera de potencial inicial se va reduciendo, incrementando la corriente ligeramente, alrededor del 1% de la nominal. Sin embargo, cuando la tensión externa supera la tensión umbral, la barrera de potencial desaparece, de forma que para pequeños incrementos de tensión se producen grandes variaciones de la intensidad de corriente. En la gráfica corresponde a la región de polarización directa.
- **Corriente máxima ($I_{d\text{ MAX}}$):** Es la intensidad de corriente máxima que puede conducir el diodo sin fundirse por el efecto Joule. Dado que es función de la cantidad de calor que puede disipar el diodo, depende sobre todo del diseño del mismo. También para la zona directa.
- **Corriente inversa de saturación (I_s):** Es la pequeña corriente que se establece al polarizar inversamente el diodo por la formación de pares electrón-hueco debido a la temperatura, admitiéndose que se duplica por cada incremento de 10° en la temperatura.

- **Corriente superficial de fugas:** Es la pequeña corriente que circula por la superficie del diodo, esta corriente es en función de la tensión aplicada al diodo, con lo que al aumentar la tensión, aumenta la corriente superficial de fugas.
- **Tensión de ruptura (V_R):** Es la tensión inversa máxima que el diodo puede soportar antes de darse el efecto avalancha. Teóricamente, al polarizar inversamente el diodo, este conducirá la corriente inversa de saturación; en la realidad, a partir de un determinado valor de la tensión en el diodo normal o de unión abrupta, la ruptura se debe al efecto avalancha; no obstante hay otro tipo de diodos, como los Zener, en los que la ruptura puede deberse a dos efectos:
 - Efecto avalancha (diodos poco dopados). En polarización inversa se generan pares electrón-hueco que provocan la corriente inversa de saturación; si la tensión inversa es elevada, los electrones se aceleran incrementando su energía cinética, de forma que al chocar con electrones de valencia pueden provocar su salto a la banda de conducción. Estos electrones liberados, a su vez, se aceleran por efecto de la tensión, chocando con más electrones de valencia y liberándolos a su vez. El resultado es una avalancha de electrones que provoca una corriente grande. Este fenómeno, para algunos diodos, se produce para valores de la tensión superiores a 6 V.
 - Efecto Zener (diodos muy dopados). Cuanto más dopado está el material, menor es la anchura de la zona de carga. Puesto que el campo eléctrico E puede expresarse como cociente de la tensión V entre la distancia d , cuando el diodo esté muy dopado, y por tanto d sea pequeño, el campo eléctrico será grande, del orden de $3 \cdot 10^5$ V/cm. En estas condiciones el propio campo puede ser capaz de arrancar electrones de valencia incrementándose la corriente. Este efecto se produce para tensiones de 4 V o menores.
Para tensiones inversas entre 4 y 6 V la ruptura de estos diodos especiales, como los Zener, se puede producir por ambos efectos.

De forma simplificada, la curva característica de un diodo (I - V) consta de dos regiones: por debajo de cierta diferencia de potencial, se comporta como un circuito abierto (no conduce), y por encima de ella, como un circuito cerrado con una resistencia eléctrica muy pequeña.

Debido a este comportamiento, se les suele denominar rectificadores, ya que son dispositivos capaces de suprimir la parte negativa de cualquier señal, como paso inicial para convertir una corriente alterna en corriente continua. Su principio de funcionamiento está basado en los experimentos de Lee De Forest.

1.3.4 MODELO MATEMÁTICO

El modelo matemático más utilizado es el de Shockley (en honor a William Bradford Shockley) que permite aproximar el comportamiento del diodo en la mayoría de las aplicaciones. La ecuación que relaciona la intensidad de corriente y la diferencia de potencial es como la que se muestra a continuación:

$$I = I_s \left(e^{\frac{q \cdot v_d}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right)$$

Donde:

- I: es la intensidad de la corriente que atraviesa el diodo.
- v_d : es la diferencia de potencial en sus extremos.
- I_s : es la corriente de saturación.
- q: es la carga del electrón.
- T: es la temperatura absoluta de la unión.
- k: es la constante de Boltzman.
- n: es el coeficiente de emisión, dependiendo del proceso de fabricación del diodo y que suele adoptar valores entre 1 (para el germanio) y del orden de 2 (para el silicio).

1.3.5 TIEMPO DE CONMUTACIÓN

El tiempo de conmutación del diodo se refiere al tiempo que el diodo pasa del estado de polarización inversa al estado de polarización directa. Cuanto menor sea este tiempo, mayor será la velocidad de operación del circuito.

Este tiempo de conmutación depende de muchos factores, entre ellos, de la densidad de carga total acumulada Q' durante el periodo de funcionamiento en directo, del tiempo de vida de los portadores minoritarios " t ".

La densidad de corriente en el estado de polarización directa se mantiene aproximadamente constante, y cuando pasamos al estado de polarización inversa, la densidad de corriente inversa aumenta mucho para después ir decreciendo hasta alcanzar el nivel de la densidad de corriente de saturación.

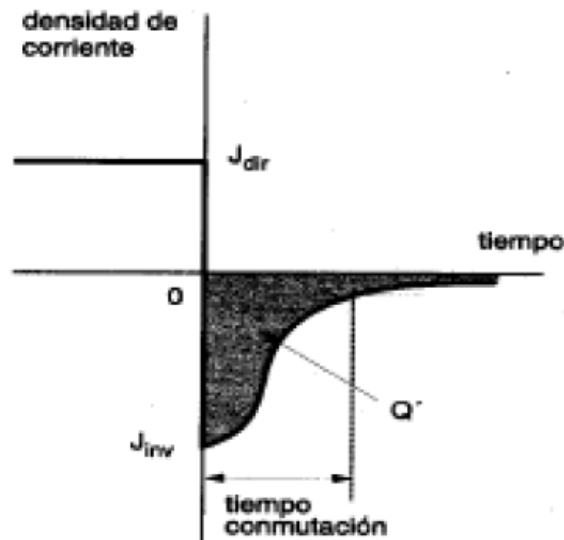


Figura 1.7: Gráfica de conmutación del diodo.

1.4 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UN DIODO LED

El LED es un dispositivo optoelectrónico fabricado con material semiconductor, formando una unión p-n, que emite luz cuando se polariza de forma directa, circulando por él corriente eléctrica. Los electrones son capaces de recombinarse con los huecos dentro del dispositivo, pasando así a un nivel energético menor y liberando energía en forma de fotones. Este efecto se llama electroluminiscencia. (Ver Figura 9).

La longitud de onda de la luz emitida, y por tanto el color, está determinado por la energía de la banda prohibida de los materiales que forman la unión p-n, que depende del material semiconductor con que está fabricado.

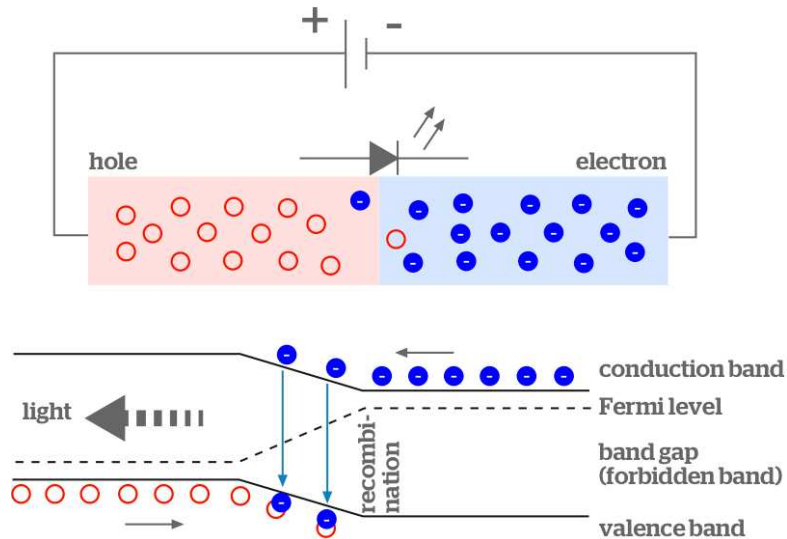


Figura 1.8: Recombinación de los electrones (www.sakma.com)

Puesto que un LED es un diodo, este se compone de dos terminales: ánodo (material tipo P) y cátodo (material tipo N). La corriente puede circular en sentido directo (de ánodo a cátodo) pero no en sentido inverso. Al hacer circular corriente en sentido directo por un LED, los electrones cruzan la barrera de potencial y se produce la recombinación con los huecos; este fenómeno emite fotones. Si aumentamos la corriente que atraviesa un LED, este emitirá más fotones, es decir, lucirá más, pero también aumentará la temperatura y disminuirá la eficiencia y la vida útil.

La tensión directa (V_d) de un LED varía en función del material semiconductor con que esté fabricado, entonces la diferencia de potencial ánodo - cátodo de un LED rojo es de unos 1,7 V y el de un LED de rayos ultravioleta es de unos 4 V.

Normalmente se encapsula en una cubierta de plástico epoxy de mayor resistencia que las de vidrio. El plástico puede estar coloreado pero no influye en el color de la luz emitida, sino que cumple simplemente una función identificativa. La cubierta de un LED contiene una lente que determina el ángulo de emisión del LED.

1.5 ÓPTICA

1.5.1 LA LUZ

La luz es una onda electromagnética consistente en un campo eléctrico que varía en el tiempo, generando a su vez un campo magnético y viceversa, ya que los campos eléctricos variables generan campos magnéticos (ley de Ampere) y los campos magnéticos variables generan campos eléctricos (ley de Faraday). De esta forma, la onda se auto-propaga indefinidamente a través del espacio con campos magnéticos y eléctricos generándose continuamente. Estas ondas electromagnéticas son sinusoidales, con los campos eléctrico y magnético perpendiculares entre sí y respecto a la dirección de propagación.

Para poder describir una onda electromagnética podemos utilizar parámetros habituales de cualquier onda:

Amplitud (A): Es la longitud máxima respecto a la posición de equilibrio que alcanza la onda en su desplazamiento.

Período (T): Es el tiempo necesario para el paso de dos máximos o mínimos sucesivos por un punto fijo en el espacio.

Frecuencia (f): Número de oscilaciones del campo por unidad de tiempo. Es una cantidad inversa al período.

Longitud de onda (λ): Es la distancia lineal entre dos puntos equivalentes de ondas sucesivas.

Velocidad de propagación (V): Es la distancia que recorre la onda en una unidad de tiempo. En el caso de la rapidez de propagación de la luz en el vacío, se representa con la letra c .

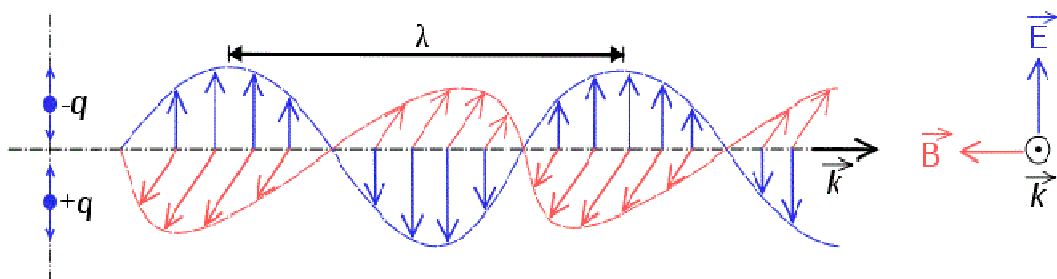


Figura 1.9: Representación de una onda electromagnética en un instante determinado. (www.eltamiz.com)

1.5.2 EL COLOR

Espectro electromagnético y luz visible

El espectro electromagnético abarca también todas las longitudes de onda que la luz pueda tener, desde miles de kilómetros hasta femtómetros. Es por eso por lo que la mayor parte de las representaciones esquemáticas suelen tener escala logarítmica.

De todo el espectro, la porción que el ser humano es capaz de ver es muy pequeña en comparación con las otras regiones espectrales. Esta región, denominada espectro visible, comprende longitudes de onda desde los 380 nm hasta los 780 nm. La luz de cada una de estas longitudes de onda es percibida por el ojo humano como un color diferente; por eso, en la descomposición de la luz blanca en todas sus longitudes de onda, por prismas o por la lluvia en el arco iris, el ojo ve todos los colores.

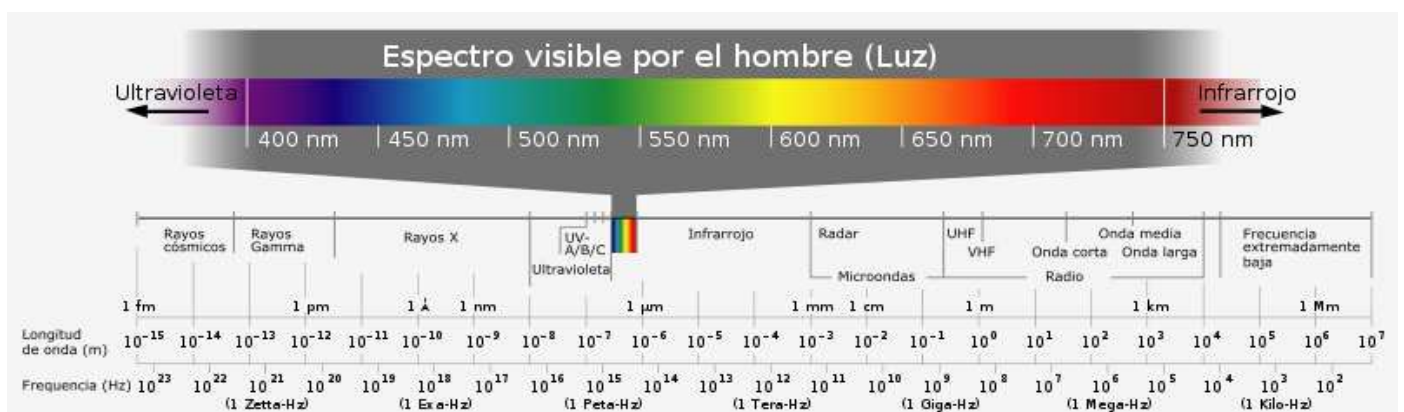


Figura 1.10: Espectro electromagnético de la luz visible por el hombre, según longitud de onda. (Wikipedia – Espectro Visible)

Temperatura del color

La temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. Por este motivo esta temperatura de color se expresa en grados Kelvin, a pesar de no reflejar expresamente una medida de temperatura, por ser la misma solo una medida relativa.

1700 K: Luz de una cerilla.

1850 K: Luz de vela.

2800 K: Luz incandescente o de tungsteno (iluminación convencional).

3200 K: Tungsteno (iluminación profesional).

5500 K: Luz de día, flash electrónico (aproximado)

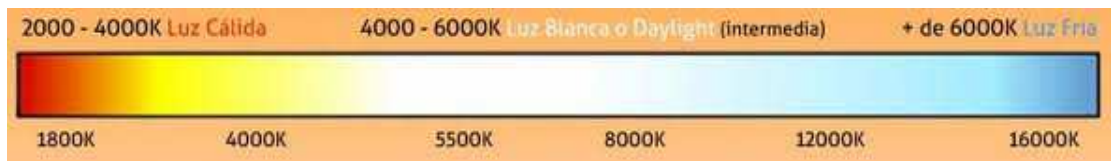


Figura 1.11: Temperatura de color de la luz. (www.solosequenosenada.com)

1.6 HISTORIA DE LOS LEDS

La historia del LED y su desarrollo posterior ha transcurrido en paralelo al siglo XX. Ya en 1907, Henry Joseph Round, especialista en las comunicaciones por radio, descubre el efecto físico de la electroluminiscencia. Durante muchos años, su hallazgo pasó inadvertido por la comunidad científica.

El primer diodo LED fue diseñado por Oleg Vladimirovich Losev (quien fabricó un LED de óxido de cinc y carburo de silicio). Losev publicó los detalles de su trabajo en 1927, en una revista científica rusa, y abrió el camino a los posteriores descubrimientos.



Figura 1.12: La primera patente del diodo LED creado en 1927 por el científico ruso Oleg Vladimirovich Losev.

Lamentablemente, Losev no tuvo en vida reconocimiento ni recompensas materiales, puesto que el estallido de la Segunda Guerra Mundial y su muerte en Leningrado truncaron su carrera. Si de algo sirve reconocerlo ahora, es cierto que H.J. Round descubrió la electroluminiscencia, pero fue Oleg Losev quien inventó el LED como tal.

Considerado como el padre del LED moderno, Nick Holonyak inventó el primer LED que emitía en el espectro visible en 1962, cuando trabajaba para General Electric. Quince años más tarde, ya desde su cátedra en la Universidad de Illinois, descubriría el láser de punto cuántico, que abrió las puertas a las comunicaciones a través de la fibra óptica, los reproductores de CD y numerosas aplicaciones en el mundo de la medicina.

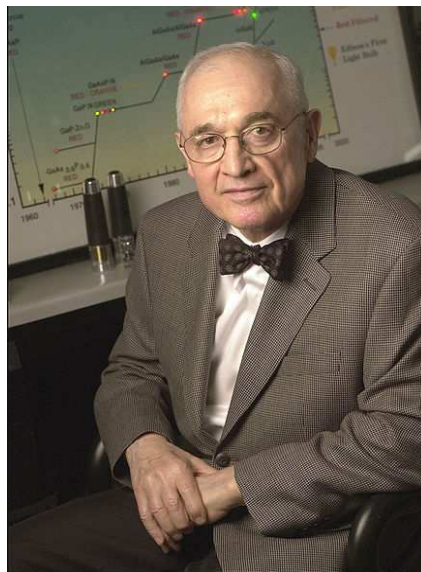


Figura 1.13: Nick Holonyak, padre del LED moderno.

Respecto a la aplicación industrial del LED, fue en los años 60 y 70 cuando tuvo un gran desarrollo. En 1962, en paralelo al hallazgo de Holonyak, sale al mercado el primer diodo luminiscente rojo, combinando galio, arsénico y fósforo (GaAsP) con lo cual se consiguió un LED rojo con una frecuencia de emisión de unos 650 nm con una intensidad relativamente baja, aproximadamente 10mcd @20mA, (mcd = milicandela) que servía como indicador, ya que su luz todavía no era suficiente para iluminar una gran superficie. El siguiente desarrollo se basó en el uso del galio en combinación con el fósforo (GaP) con lo cual se consiguió una frecuencia de emisión del orden de los 700nm. A pesar de que se conseguía una eficiencia de conversión electrón-fotón o corriente-luz más elevada que con el GaAsP, esta se producía a relativamente baja corriente; un incremento en la corriente no generaba un aumento lineal en la luz emitida; sumado a esto se tenía que la frecuencia de emisión estaba muy cerca del infrarrojo, una zona en la cual el ojo no es muy

sensible, por lo que el LED parecía tener bajo brillo a pesar de su superior desempeño de conversión.

Los siguientes desarrollos, ya entrada la década de los 70, introdujeron nuevos colores al espectro. Mediante la utilización de distintas proporciones de materiales se produjeron distintos colores. Así se consiguieron colores verde y rojo utilizando GaP con diferentes materiales dopantes y ámbar, naranja y rojo de 630nm (el cual es muy visible) utilizando diferentes composiciones GaAsP. También se desarrollaron LEDs infrarrojos, los cuales se hicieron rápidamente populares en los controles remotos de los televisores y otros artefactos del hogar.

En la década de los 80 un nuevo material entró en escena el GaAlAs, arseniuro de Galio y Aluminio. Con la introducción de este material el mercado de los LEDs empezó a despegar, ya que proveía un mayor rendimiento sobre los LEDs desarrollados previamente. Su brillo era aproximadamente 10 veces superior y además se podía utilizar a elevadas corrientes, lo que permitía utilizarlos en circuitos multiplexados, con lo que se los podía utilizar en display y letreros de mensaje variable.

Sin embargo, este material se caracteriza por tener un par de limitaciones, la primera y más evidente es que se conseguían solamente longitudes de onda del orden de los 660nm (rojo) y segundo que se degradan más rápidamente en el tiempo que los otros materiales, efecto que se hace más notorio en condiciones elevadas de temperatura y humedad.

Hay que hacer notar que la calidad del encapsulado es un factor fundamental en la degradación temporal. Los primeros desarrollos de resinas epoxi para el encapsulado poseían una no muy buena impermeabilidad ante la humedad, además los primeros LEDs se fabricaban manualmente, el posicionamiento del sustrato y vertido de la resina era realizado por operarios y no por máquinas automáticas como hoy en día, por lo que la calidad del LED era bastante variable y su vida útil, mucho menor de la esperada. Hoy en día esos problemas fueron superados y cada vez son más las fábricas que certifican la norma ISO 9000 de calidad de proceso. Además, últimamente es más común que las resinas posean inhibidores de rayos UVA y UVB, especialmente en aquellos LEDs destinados al uso en el exterior.

El problema es que, aunque se han conseguido fabricar LEDs de varios colores, todavía no se ha logrado uno que pudiese generar luz azul por efecto de electroluminiscencia. A falta de un color primario, no podían suplirlo mezclando otras luces. Eso cambió cuando Shuji Nakamura inventó el LED azul, este LED siempre había sido difícil de conseguir debido a su elevada energía de

funcionamiento y relativamente baja sensibilidad del ojo a esa longitud de onda (del orden de los 460 nm).



Figura 1.14: Shuji Nakamura, inventor del LED azul.

De esta forma, en los años 90 se apareció en el mercado tal vez el más exitoso material para producir LEDs hasta la fecha el AlInGaP, fosfuro de Aluminio, Indio y Galio. Las principales virtudes de este compuesto son, primero, que se puede conseguir una gama de colores desde el rojo al amarillo cambiando la proporción de los materiales que lo componen y segundo, que su vida útil es sensiblemente mayor, a la de sus predecesores.

Hoy en día coexisten varias técnicas diferentes para producir luz azul, una basada en el SiC, Carburo de Silicio, otra basada en el GaN, Nitruro de Galio, otra basada en InGaN, Nitruro de Indio y Galio sobre sustrato de Zafiro y otra GaN sobre sustrato SiC. El compuesto GaN, inventado por Nakamura, es actualmente el más utilizado.

Otras técnicas como la de ZnSe, Selenuro de Zinc, han sido dejadas de lado y al parecer el SiC seguirá el mismo camino debido a su bajo rendimiento de conversión y elevada degradación con la temperatura.

Compuesto	Color	Long. de onda
Arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo	940nm
Arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	Rojo e infrarrojo	890nm
Arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	Rojo, naranja y amarillo	630nm
Fosfuro de galio (GaP)	Verde	555nm
Nitruro de galio (GaN)	Verde	525nm
Seleniuro de zinc (ZnSe)	Azul	
Nitruro de galio e indio (InGaN)	Azul	450nm
Carburo de silicio (SiC)	Azul	480nm
Diamante (C)	Ultravioleta	
Silicio (Si)	En desarrollo	

Tabla 1.1: Materiales utilizados en la fabricación de diodos LED.
(www.ledlighting.cl)

Dado que el azul es un color primario, junto con el verde y el rojo, tenemos hoy en día la posibilidad de formar el blanco y toda la gama de colores del espectro con la combinación de los tres; esto permite que los display gigantes y carteles de mensajes variables full color se hagan cada día más habituales en nuestra vida cotidiana.

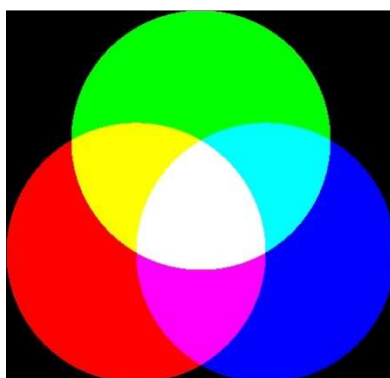


Figura 1.15: Combinación de colores RGB.

El LED es un elemento que ha estado y está en continuo desarrollo. Durante más de treinta años, ha sido utilizado como señalización e iluminación industrial, en productos de consumo como teléfonos inteligentes, televisores, automóviles, ordenadores, señales de tráfico u otras aplicaciones en el ámbito de la decoración.

Su eficacia sigue mejorando a gran velocidad y ya supera los 200 lm/W.

1.7 COMPONENTES DE UN LED

Un LED está formado por los siguientes elementos, pudiendo alterar su forma y/o tamaño en función del propósito de fabricación del mismo:

Lente/Encapsulado Epóxico: Esta lente mantiene todo el paquete estructurado, determina el haz de luz, protege el chip reflector, además de extraer el flujo luminoso. Existen 4 tipos de encapsulado si lo catalogamos por su color:

- **Transparente.** Utilizado en LEDs de alta potencia de emisión.
- **Coloreado.** Mismo color que el de emisión de sustrato; utilizado en LEDs de mediana potencia.
- **Difuso.** Aspecto opaco, coloreados con el color de emisión; con este encapsulado pierden brillo pero ganan ángulo de visión.
- **Lechoso.** Utilizado en LEDs bicolores o multicolores.

Cable Conductor: Es un cable muy delgado de oro, el cual conecta cada terminal a cada uno de los postes conductores.

Chip: Consiste en dos capas de material emisor semiconductor, cuando los átomos son excitados por un flujo de corriente, se crea la luz.

Reflector: Está por debajo del Chip reflejando y proyectando luz hacia fuera.

Cátodo: Poste hecho de aleación de cobre, que conduce la carga negativa; el cátodo es más corto que el ánodo para facilitar un ensamble más rápido y preciso.

Ánodo: Poste hecho en aleación de cobre y conduce la carga positiva.

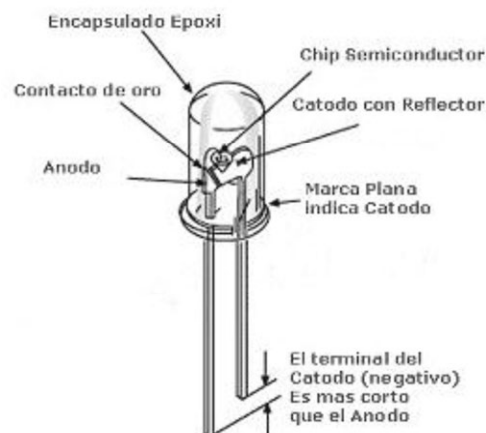


Figura 1.16: Componentes de un diodo LED (www.todopic.com.ar)

1.8 EFICIENCIA LUMINOSA

El LED emite más luz por vatio que otros sistemas de iluminación como son las bombillas incandescentes. Su eficiencia no se ve afectada por la forma y tamaño, a diferencia de las bombillas o los fluorescentes, sino que depende de los materiales con que se ha fabricado, de la corriente con que se alimentan, o de cómo se gestiona la disipación del calor.

Los típicos LEDs indicadores están diseñados para operar con no más de 60 mW de potencia eléctrica. Alrededor de 1999, Philips LumiLEDs introdujo LEDs de potencia capaces de funcionar en uso continuo a 1 W. Estos LEDs incorporan una pastilla de material semiconductor mucho más grande que los LEDs convencionales para adaptarse a la mayor potencia de funcionamiento. Además las piezas de material semiconductor se montan sobre piezas de metal para permitir la disipación de calor.

La eficiencia mencionada se refiere solamente al LED funcionando a baja temperatura en un laboratorio. A mayor temperatura y con circuito de alimentación, la eficiencia se reduce. El problema es que la eficiencia decrece rápidamente al incrementar la corriente, aumentando la temperatura más que la intensidad de luz.

En las figuras 19 y 20 se puede observar una comparativa de eficiencia y durabilidad entre dispositivos de iluminación como son los LEDs, luces halógenas, fluorescentes o bombillas de incandescencia, pudiendo llegar hoy en día a unos 208 lm/W en LEDs blancos a temperatura de trabajo normal.

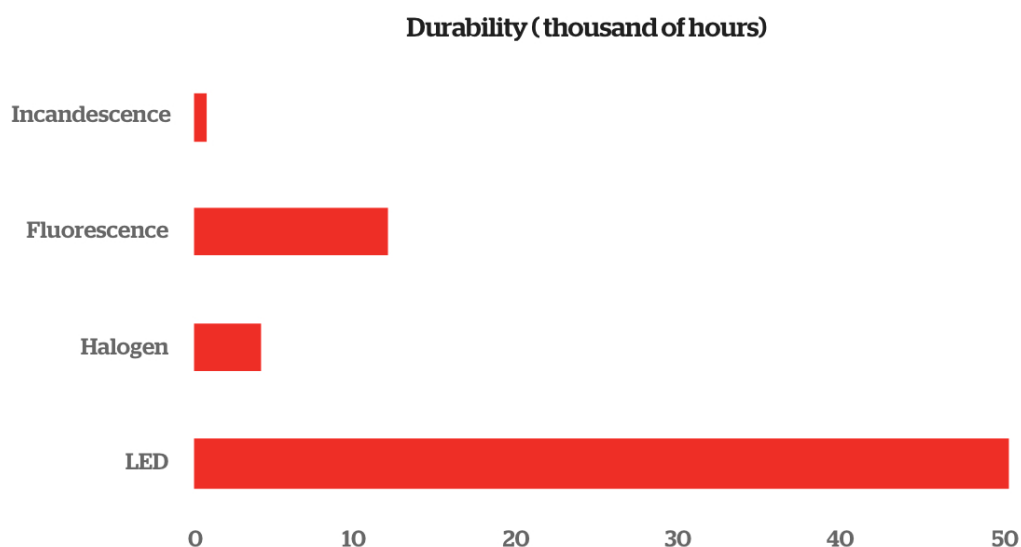


Figura 1.17: Comparativa de Durabilidad.

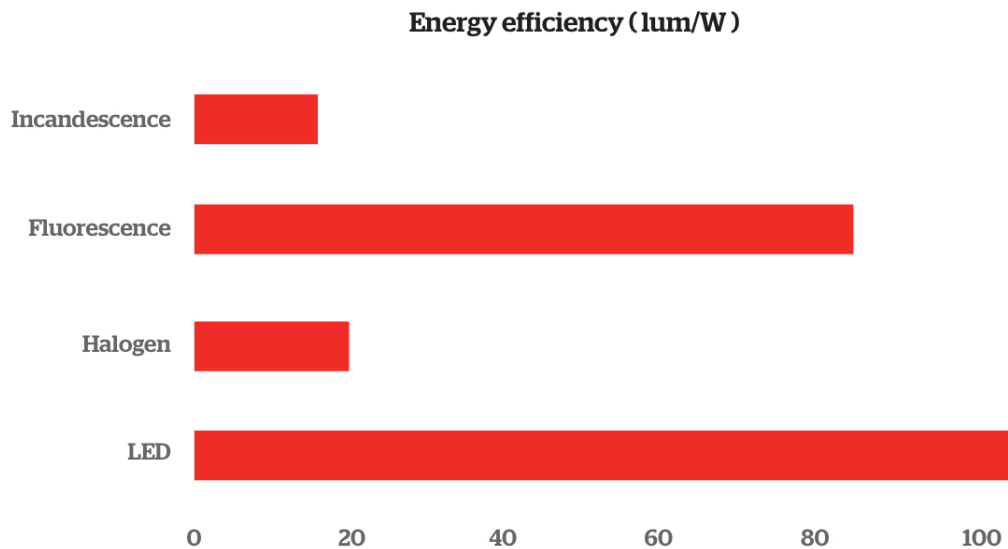


Figura 1.18: Comparativa de Eficiencia. (www.sakma.com)



Figura 1.19: Metáfora de lo obsoleto de las bombillas tradicionales.

1.9 VENTAJAS E INCONVENIENTES

La tecnología LED aporta importantes ventajas respecto a los sistemas tradicionales de iluminación. La importancia de dichas ventajas dependerá de su aplicación específica; entre ellas cabe señalar las siguientes:

Ventajas en general:

- ✓ Larga duración.
- ✓ Bajo coste de mantenimiento.

- ✓ Más eficiente que las demás de tecnologías de iluminación.
- ✓ Encendido instantáneo.
- ✓ Permiten regular su intensidad con facilidad mediante un regulador o "dimmer".
- ✓ Emisión directa de luces de colores sin necesidad de filtros.
- ✓ Gama completa de colores.
- ✓ Control dinámico del color y puntos blancos ajustables

Ventajas de diseño:

- ✓ Libertad total de diseño, tamaños muy reducidos.
- ✓ Colores intensos, saturados.
- ✓ Luz direccionada para sistemas más eficaces.
- ✓ Al no tener cristal ni filamento son mucho más resistentes a los golpes y vibraciones.

Ventajas medioambientales:

- ✓ Sin mercurio, es decir, no son tóxicos.
- ✓ Sin irradiaciones de infrarrojos o ultravioletas en la luz visible
- ✓ Su bajo consumo y larga duración reducen el impacto medioambiental.

Inconvenientes:

Los inconvenientes que presentan los LEDs, son muy escasos, algunos pueden ser:

- ✗ Tiempos prolongados a altas temperaturas pueden conducir al fallo del dispositivo.
- ✗ Necesidad de tensión superior al umbral y una corriente por debajo de la calificación pueden implicar resistencias en serie o fuentes de corriente reguladas.
- ✗ Algunos LEDs azules de colores fríos y blancos son capaces de sobrepasar los límites de seguridad de la luz definidas en especificaciones tales como: ANSI / ESNA RP-27.1-05.

1.10 APLICACIONES

Los diodos tienen innumerables aplicaciones. Se comenzaron empleando diodos infrarrojos en mandos a distancia de televisores y posteriormente en otro tipo de electrodomésticos como pueden ser equipos de música, aire acondicionado, o también como transmisión de datos en algunos dispositivos móviles.

El LED forma y formará parte fundamental de la iluminación en hogares y edificios, ya que con el paso del tiempo, la automatización es inevitable, y por tanto las ventajas derivadas de que la fuente que produzca la iluminación sea realmente un circuito, son que su integración y control por parte de las centralitas sea fácil de conseguir y adecuada según las necesidades del entorno.

Otra aplicación importante es la retroiluminación de pantallas de teléfonos móviles, calculadoras, agendas electrónicas entre muchos otros y, en los últimos tiempos, de televisores; así como en bicicletas y usos similares.

Se pueden encontrar LEDs en dispositivos de señalización de estado (encendido o apagado), paneles de información, dispositivos de señalización (de emergencia, tráfico, etc).

Los diodos LED se usan también en el ámbito de la rotulación e iluminación, unas aplicaciones que van en aumento, ya que las prestaciones superan sensiblemente a las del fluorescente y, en mayor medida, a la lámpara de incandescencia.

También se utilizan en la emisión de señales de luz que se transmiten a través de fibra óptica.

Estas son solo algunas de las principales aplicaciones del diodo LED; por lo tanto, estamos hablando de un elemento muy importante en cualquier campo.

A continuación se ilustran algunas de estas aplicaciones:



Figura 1.20: Luces de posición. (Wikipedia – LED)



Figura 1.22: Pantalla en Fremont Street en Las Vegas. (Wikipedia - LED)



Figura 1.23: Semáforo y paneles informativos.
(www.rotuloselectronicos.net)

1.11 CONCLUSIONES CAPÍTULO 1

En este capítulo se han descrito los aspectos fundamentales que rodean a los diodos LED.

- Tras una descripción introductoria, se ha realizado un resumen de los tipos de materiales que existen en función de su conductividad, haciendo especial hincapié en los materiales semiconductores, que son los que permiten fabricar diodos. A continuación, se analizan física y eléctricamente los diodos, su funcionamiento y sus principales características.
- Posteriormente se explica el funcionamiento concreto de los LEDs, su origen y la evolución que han tenido a través del tiempo. También ha sido imprescindible describir sus características, ventajas y principales aplicaciones. Destacar que estas ventajas han hecho que los LEDs han revolucionado el mundo de la iluminación en los últimos años.
- Con todo lo expuesto en este capítulo, se puede afirmar que estos dispositivos han revolucionado el sector de la iluminación y comienzan a ser la tecnología predominante. Siguen en continua evolución y cada día se descubren nuevos materiales y formas de fabricación, que permiten diodos LEDs aún más eficientes y duraderos.

Capítulo 2

La Fiabilidad

2. LA FIABILIDAD

2.1 INTRODUCCIÓN

La ingeniería de Fiabilidad es el área de conocimiento que intenta garantizar que el producto permanecerá en buenas condiciones durante un periodo razonable de tiempo.

La fiabilidad o falta de fiabilidad de un producto tiene implicaciones desde puntos de vista muy diversos: Desde un punto de vista humano la ausencia de fiabilidad en un producto puede descartar su utilización con seres vivos, uso militar, uso aeroespacial...por considerar las repercusiones del fallo no asumibles para el nivel de fiabilidad obtenido, y desde un punto de vista puramente económico, es deseable una alta fiabilidad para reducir los costes totales del producto.

El hecho de que en algunos sistemas militares el coste anual de mantenimiento sea diez veces el coste original del mismo, pone de manifiesto la necesidad de no solo evaluar los costes iniciales de un producto sino los de toda la vida del producto (ciclo vida). También hay que considerar el hecho de que los fallos pueden afectar a la seguridad. Existen otros aspectos como retrasos de horarios, incomodidades, insatisfacción del cliente y pérdida de prestigio del fabricante que pueden ser muy importantes. Cada vez son más las empresas y organismos que en sus contrataciones exigen el cumplimiento de ciertas normas de fiabilidad (por ejemplo un nivel de fiabilidad de acuerdo al MIL HDBK217 en USA,...)

En la industria, a medida que avanza el tiempo, los equipos y sistemas crecen en complejidad y existen mayores exigencias a la eficiencia de los costos del ciclo de vida útil de las máquinas; por ello, diseñadores y fabricantes intentan llegar al objetivo de calidad exigido por el mercado minimizando el coste de toda la vida del producto.

Desde el diseño existe la necesidad de entregar equipos o sistemas que tengan las prestaciones deseadas por el cliente y que además sean fiables, de fácil mantenimiento y con funcionamiento seguro y económico durante su vida útil.

2.2 CONCEPTOS PREVIOS

Es importante explicar los siguientes conceptos antes de la fiabilidad:

- Mérito
- Efectividad de un sistema
- Probabilidad

A continuación se realiza una descripción de cada uno de ellos.

2.2.1 MÉRITO DE UN SISTEMA

Cuando surge la necesidad de implantar un nuevo dispositivo, es necesario ver cómo va a afectar al resto de funcionamiento del sistema, su integración con otros sistemas, es decir, cómo de deseable va a ser su adquisición, empleo e integración. Esto es lo que se conoce como mérito de un sistema.

Todo esto se tendrá en cuenta al elegir un sistema concreto dentro de la amplia gama de sistemas similares, es decir, en la elección del sistema que más se adecue a nuestras necesidades. A esto se le llama elección por mérito y se basa en cuatro factores:

- **Coste.** Este factor hace referencia a los costes de adquisición, de mantenimiento y amortización.
- **Plazos de entrega.** La observación de este factor nos da la idea de la capacidad de la industria de disponer del sistema seleccionado en el momento en que este sistema es necesario y se prevé su adquisición.
- **Necesidades de personal.** Fija la cantidad de personal necesaria para llevar a cabo las tareas de funcionamiento y mantenimiento del sistema adquirido, a la vez que determina el grado de formación que necesita dicho personal.
- **Efectividad.** Engloba las características de diseño y funcionamiento.

El resultado del mérito de un sistema posiblemente no nos haga decidimos por uno u otro, ya que será posible obtener diferentes puntuaciones para ese mismo sistema, en función de los parámetros que se han de evaluar.

2.2.2 PROBABILIDAD

"La probabilidad de un suceso es un número que cuantifica en términos relativos las probabilidades de éxito de ese suceso"

Enfoque clásico o a priori (Laplace, 1812): consiste en estimar la probabilidad de un suceso (X_i) como la razón entre los resultados favorables a ese suceso y el número total de resultados posibles que se pueden dar en la realización del experimento aleatorio.

$$P(X_i) = \frac{n^{\circ} \text{ de resultados favorables}}{n^{\circ} \text{ de resultados posibles}}$$

En la que:

- Los elementos de E tienen la misma probabilidad de ocurrencia (equiprobables)

$$0 < P(A) < 1$$

- Si A es un suceso imposible: $P(A) = 0$

- Si A es un suceso seguro (contiene todos los sucesos elementales de E): $P(A)=1$

- Si A' es complementario de A: $P(A) + P(A') = 1$. Por tanto: $P(A) = 1 - P(A')$

Enfoque frecuencionalista, a posteriori o estadístico: dado un suceso X_i asociado a la realización de un determinado experimento aleatorio, la estimación de la probabilidad de X_i a partir de este enfoque se basa en la repetición de una gran cantidad de veces del experimento aleatorio en las mismas condiciones, para así obtener la razón entre el n° de veces que ha ocurrido ese suceso (n_i) y el n° de repeticiones del experimento (n):

$$P(X_i) = \frac{n_i}{n}$$

La probabilidad del suceso A se determina a partir de la repetición sistemática (n veces) del experimento aleatorio en N ensayos independientes y en las mismas condiciones y el número de veces que se verifican los sucesos.

2.2.3 EFECTIVIDAD DE UN SISTEMA

Se define la efectividad de un sistema como la probabilidad de que este satisfaga adecuadamente la demanda operativa dentro de un tiempo dado cuando está funcionando dicho sistema en unas condiciones definidas. Esta efectividad dependerá de la frecuencia de fallos, de la dificultad encontrada en su reparación y mantenimiento, y sobre todo, de cómo de bien realice la tarea o función para la que fue adquirido.

La efectividad de un sistema es como un vector con los siguientes componentes:

- **Apresto operativo:** es la probabilidad de que el sistema esté funcionando satisfactoriamente o preparado para funcionar si fuese necesario en un instante de tiempo cualquiera en las condiciones definidas para este sistema.
- **Fiabilidad de misión:** es la probabilidad de que el sistema funcione sin fallos durante el tiempo que realiza una tarea.
- **Suficiencia de diseño:** es la probabilidad de que el sistema funcione dentro de lo especificado en su diseño, es decir, que el sistema realice correctamente la tarea para la cual fue adquirido.

2.3 DEFINICIÓN DE FIABILIDAD

La definición de AFNOR X 06-501: Fiabilidad es la característica de un dispositivo expresada por la probabilidad de que un dispositivo cumpla una función requerida en las condiciones de utilización y para un periodo de tiempo determinado.

Siendo la probabilidad la relación entre un número de casos favorables y un número de casos posibles asociada a un tiempo t , según las definiciones, se deben determinar muy claramente los siguientes conceptos:

- **Funcionamiento satisfactorio.** Las definiciones de fallo y funcionamiento satisfactorio, ambas excluyentes, deben ser claras y sin ambigüedades.
- **Tiempo de funcionamiento (Misión).** La probabilidad de funcionamiento es en función del tiempo, por lo que debe especificarse el tiempo de funcionamiento.

- **Condiciones de funcionamiento.** La fiabilidad depende de las condiciones eléctricas y medioambientales de funcionamiento que deben ser especificadas.

La fiabilidad es una función de probabilidad; con esto decimos que, aunque se dispongan de datos estadísticos de la vida de un dispositivo o sistema, no queda completamente definido el comportamiento de cada uno de los dispositivos a lo largo de su vida útil, es decir, cada dispositivo se comportará de forma similar pero nunca igual a otro dispositivo.

La diferencia entre Calidad y Fiabilidad es que la Calidad garantiza que el producto sale de fábrica en buenas condiciones mientras que la Fiabilidad garantiza que el producto permanezca en buenas condiciones durante un periodo razonable de tiempo. Pero, evidentemente, la calidad de un producto contribuye a la fiabilidad del mismo.

Por tanto, la Calidad carece de la dependencia temporal de la Fiabilidad. Y esta dependencia temporal introduce una incertidumbre en la definición de fiabilidad, es decir, saber si un producto funcionará a lo largo de un periodo de tiempo es una cuestión de probabilidad.

Como la fiabilidad es una función del tiempo, lo que mejor mide la exposición al fallo es el tiempo, aunque puede suceder que en ciertos dispositivos no sea el tiempo la medida adecuada, debiéndose emplear otras formas de medida. Por ejemplo en el sector de automoción, en vez del tiempo se utiliza la distancia recorrida (kilómetros). Aunque en la mayoría de los casos, el tiempo es la magnitud adecuada y las demás medidas de exposición al fallo suelen traducirse a tiempo.

Naturalmente, la probabilidad de supervivencia de un dispositivo depende de las condiciones de funcionamiento. Si estas no se fijan, el concepto de fiabilidad carece de sentido. Pero las condiciones de funcionamiento usualmente definidas no suelen cubrir todos los factores capaces de producir fallos.

2.4 CONCEPTO DE FALLO

La fiabilidad es una medida del éxito con el que el sistema se ajusta a alguna especificación definitiva de su comportamiento. Cuando el comportamiento de un sistema se desvía del especificado para él, se dice que es un fallo. Los fallos son el resultado de problemas internos no esperados que el sistema manifiesta

eventualmente en su comportamiento externo. Estos problemas se llaman errores, y si carecen de causas mecánicas o algorítmicas se denominan defectos.

2.4.1 FALLOS CATASTRÓFICOS Y POR DEGRADACIÓN

Los fallos catastróficos son aquellos que hacen que algún parámetro del sistema o componente varíe de forma brusca su comportamiento impidiendo el funcionamiento del sistema o dispositivo dentro de los márgenes preestablecidos de actuación de este. Son fallos súbitos y totales.

En cambio, los fallos por degradación (también llamados no catastróficos o por deriva) son los que obedecen a una degradación lenta o progresiva en el tiempo de algunos de los parámetros de actuación del sistema que terminan por salirse de unas tolerancias o límites de correcto funcionamiento preestablecidos.

En nuestro caso, el parámetro en el que nos fijamos para determinar si el comportamiento de los diodos LEDs son satisfactorios, es la potencia lumínica de estos.

Definimos el fallo catastrófico de un diodo LED aquel en el que la potencia lumínica obtenida es cero, es decir, el diodo LED no se ilumina; por ejemplo, la rotura de una patilla, un cortocircuito, etc. mientras que el progresivo decremento de la potencia lumínica del LED hasta salirse de unos límites de funcionamiento exigidos, es un fallo por degradación. Estos límites no son fijos, dependerán del carácter del estudio; en el caso de este PFC, se ha fijado un **límite del 70%**, es decir, consideraremos que el LED falla por degradación cuando su potencia esté por debajo del 70% de su potencia inicial.

La relación entre el fallo del componente y el del sistema merece algunos comentarios. Se sabe que en sistemas complejos el fallo catastrófico de un componente puede, evidentemente, producir el fallo catastrófico del sistema o, en algunos casos, el fallo por degradación de un componente puede causar un fallo catastrófico del sistema.

2.4.2 FALLOS INICIALES, POR DESGASTE Y ALEATORIOS

Los componentes se fabrican para soportar determinados niveles de sollicitación. En la práctica las sollicitaciones pueden presentar una serie de picos capaces de superar el nivel máximo permisible. La frecuencia de tales picos determina la probabilidad de fallo del componente. Evidentemente, los componentes no son exactamente iguales entre sí, aunque procedan de un mismo lote de fabricación, teniendo pequeñas variaciones en la fabricación, algunos de ellos incluso pueden tener defectos de fabricación. Además, la mayoría de los componentes envejecen, es decir, pierden resistencia al fallo.

Este modelo conceptual da lugar a la siguiente clasificación de los fallos:

- **Fallos infantiles:** componentes que fallan por defectos iniciales. Son los debidos a un defecto de la pieza como resultado de una deficiencia de diseño, fabricación o inspección. Los fallos que ocurren durante la fase de investigación y desarrollo de un programa suelen ser fallos infantiles.
- **Fallos por desgaste:** fallos originados por el uso del componente. Los componentes han perdido resistencia al fallo por su uso.
- **Fallos aleatorios o por azar:** son debidos a averías accidentales, debidas a un pico de sollicitación capaz de afectar a cualquier componente normal o no normal, nuevo o usado.

2.4.3 FALLOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

En un sistema, se llama fallo primario (o independiente) al fallo de un componente cuando no se debe al fallo de otro u otros componentes. Los fallos inducidos por el fallo de otro u otros componentes reciben el nombre de secundarios o dependientes.

2.5 ESFUERZO DE COMPONENTES

Los fallos de los componentes se deben a los esfuerzos a los que son sometidos dichos componentes. Estos factores que influyen en la tasa de fallo de los dispositivos se dividen en dos: esfuerzos ambientales y esfuerzos operativos.

- Los esfuerzos ambientales naturales son debidos a la influencia que provocan algunos agentes ambientales externos (temperatura, humedad, presión, etc) sobre el dispositivo, aumentando la probabilidad de fallo de estos. También se consideran parte de este tipo de esfuerzos los inducidos por el resto de elementos del sistema que alteran la probabilidad de fallo del dispositivo. Este tipo de dispositivos no suele provocar fallos catastróficos en reposo, pero producen un envejecimiento del dispositivo; por eso es necesario limitar la vida de ciertos dispositivos en reposo en un almacén.
- Los esfuerzos operativos son aquellos factores que afectan al funcionamiento del dispositivo. Ejemplos pueden ser las tensiones, corrientes, potencia, calor disipado que influyen sobre los dispositivos electrónicos. Este tipo de factores puede provocar fallos catastróficos.

2.6 MECANISMOS DE FALLO PRINCIPALES Y MÉTODOS DE PROTECCIÓN

A continuación vamos a describir los principales mecanismos de fallo de los dispositivos:

Electromigración

La electromigración es el transporte de material causado por el movimiento gradual de los iones en un conductor. El efecto de la electromigración es importante en aplicaciones donde se utilizan densidades de corriente altas, como en la microelectrónica y en estructuras relacionadas, ya que puede ocasionar cortocircuitos entre pistas cercanas.

Los sistemas eléctricos exhiben un comportamiento de desgaste y envejecimiento (wear out). La electromigración, por ejemplo, puede ser considerada como un mecanismo de desgaste. A través del tiempo, las altas densidades de corriente en los conductores de película fina en los circuitos integrados pueden causar vacíos/lagunas o montículos (pequeños), observables a escalas micrométricas.

Deriva de los parámetros en los componentes

Con el paso del tiempo, los componentes analógicos pueden desviarse de sus valores especificados. Esto puede ser acelerado por varios factores, como la temperatura.

Los circuitos críticos, necesitan ser diseñados con un nivel de tolerancia tal, que puedan arreglárselas con la deriva de los parámetros en los componentes.

Fatigas (o tensiones) por transitorios eléctricos

Los modernos equipos electrónicos son propensos a dañarse por las altas corrientes debido a su naturaleza delicada y a su poca habilidad para disipar el calor. Entonces las fatigas transitorias como aquellas debidas a las descargas electrostáticas (ESD), encendido, y transitorios en las fuentes de potencia por conmutación o encendido, pueden ocasionar fallos en el sistema. Algunos métodos de protección contra transitorios eléctricos incluyen:

- Condensadores: para absorber los transitorios de alta frecuencia.
- Optoacopladores (opto-couplers): para aislar de los transitorios dañinos, las partes sensibles del sistema eléctrico.
- Resistencias: 1) entre las entradas y las conexiones externas para reducir los niveles de las tensiones transitorias, y 2) entre las salidas y las conexiones externas para prevenir corrientes excesivas en el caso de corto a tierra.

Calor excesivo

Este es un problema típico en electrónica de aviación y equipos para misiles, donde el calor excesivo puede causar el fracaso o destrucción del sistema eléctrico. Los valores de los parámetros en los componentes, normalmente varían con la temperatura, y es importante no superar el rango de temperatura dado por

los fabricantes. Por encima de estas temperaturas, las partes no están garantizadas para permanecer dentro de las especificaciones. Valores típicos de este rango van desde 80°C a 150°C. De esta manera el diseño térmico se vuelve un aspecto importante en el diseño global del sistema. Los componentes generan calor en su operación, y cuando se combina con la temperatura ambiente y la radiación solar, se pueden alcanzar temperaturas excesivas.

Los métodos comunes para proveer protección térmica, incluyen:

- Disipadores: para componentes que generan una considerable cantidad de calor.
- Plano de conducción térmica: Los planos de conducción térmica dentro de las placas de circuitos impresos conducen hacia fuera el calor generado por los componentes.
- Ventiladores: para mejorar el flujo de aire en el recinto.
- Líquido de enfriamiento: para dispositivos de alta potencia que generan grandes cantidades de calor.

Interferencia electromagnética (EMI)

Los sistemas eléctricos pueden emitir radiación electromagnética apta para causar interferencias al mismo equipo o a otros sistemas. Particularmente en los sistemas digitales, un conductor actuando como antena puede captar señales electromagnéticas y alterar los datos digitales. Entonces, para producir sistemas electrónicos confiables, la emisión de EMI debe limitarse en la misma medida en la que el sistema sea susceptible a ella. Existen muchas fuentes de EMI, y es conveniente consultar la bibliografía sobre EMI para entender totalmente cómo arreglárselas con ellas. Algunas de estas fuentes incluyen: motores eléctricos, emisión desde los amplificadores, descargas electrostáticas, radiación desde las bujías, radares y transformadores.

Algunas de las formas de limitar la susceptibilidad frente a la EMI son:

- Apantallado
- Filtrar las frecuencias indeseadas
- Aislamiento mediante Optoacopladores.
- Diseño cuidadoso, teniendo en cuenta el Layout, envase, etc.

Defectos mecánicos

Los defectos mecánicos son comúnmente la causa de muchos fallos de los sistemas. Considérese los cables de instalación eléctrica de un automóvil. Los cables de instalación son una colección de alambres que están conducidos a través del automóvil en forma de manguera (paquete de cables). El daño del paquete de cables es una causa común de defectos del sistema eléctrico en muchos automóviles. El daño del paquete de cables puede ocurrir por la penetración del cuerpo de tornillos, atrapado por cuerpos adyacentes, y frotamiento debido a la pérdida de las abrazaderas de fijación entre otros.

Los sistemas electrónicos deben diseñarse para soportar trastornos mecánicos, vibración, humedad y otras tensiones ambientales. Como la soldadura tiene pobres propiedades para soportar fatiga, los componentes pesados deben tener un soporte extra y no solamente la conexión soldada. Más aún, los cables necesitan ser cuidadosamente sujetos y ser robustos para evitar el desgaste debido a las partes móviles. El deterioro de los conectores es frecuentemente una causa común de fallo en los sistemas eléctricos y se debe prestar mucha atención a su ubicación y montaje.

2.7 FIABILIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

Como se puede extraer de la definición de fiabilidad que se dio en el apartado 2.1 la fiabilidad es la probabilidad de funcionamiento satisfactorio a lo largo del tiempo, es decir, en una muestra de dispositivos idénticos, la supervivencia (o duración de vida) se dispersa de una manera que se modela bien con la probabilidad y, por tanto, con una función de distribución. Por tanto, incluir el tiempo como variable en la función de fiabilidad implica la especificación de las distribuciones de probabilidad, las cuales deben ser modelos razonables de la dispersión de duración de vida. En este apartado expondremos el modelo matemático básico que se emplea para estudiar la fiabilidad de un dispositivo en función del tiempo.

2.7.1 FUNCIÓN DENSIDAD DE PROBABILIDAD Y DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA

Supongamos una variable aleatoria X ; llamaremos a la función de densidad de probabilidad $f(x)$ y a la función de distribución acumulativa, $F(x)$. Estas dos funciones proporcionan una descripción completa de la distribución de probabilidad de una variable aleatoria.

Si " X " es una variable aleatoria continua, entonces la función de densidad de probabilidad de X es una función $f(x)$ tal que para dos números, a y b con $a \leq b$

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x)dx$$

entonces:

$$f(x) \geq 0 \text{ para todo } x$$

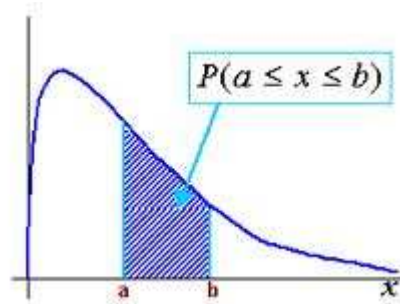


Figura 2.1: Función de probabilidad. (www.angelfire.com)

Representa la probabilidad de que X tome un valor del intervalo $[a, b]$, será el valor del área que está bajo la función de densidad desde " a " hasta " b ".

La función de distribución acumulativa, es una función $F(x)$ de una variable aleatoria X , y está definida por:

$$F(X) = P(X \leq x) = \int_{0, -\infty}^x f(s)ds$$

Esto es, para un valor dado de x , $F(X)$ es la probabilidad de que el valor de " X " sea menor o igual a " x ". Los límites de la integral dependen del dominio de $f(x)$.

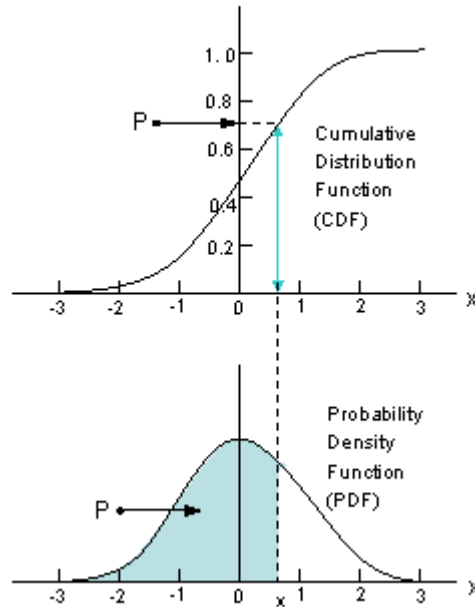


Figura 2.2: Relación típica entre la función de distribución acumulativa y la función de densidad. (www.home.ubalt.edu)

La figura 26 muestra la relación entre la función de densidad de probabilidad y la función de distribución acumulativa. La relación matemática entre ambas viene dada por la expresión:

$$F(X) = \int_{-\infty}^x f(s)ds$$

$$f(x) = \frac{d(F(x))}{dx}$$

El área total bajo la curva de la función de densidad de probabilidad es siempre igual a uno, es decir:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1$$

2.7.2 FUNCIÓN DE FIABILIDAD

Primeramente, vamos a definir la función de NO fiabilidad $Q(t)$ que representa la probabilidad de fallo, o la probabilidad de tiempo de fallos en la región de “0” (o δ) y “t” y viene dada por la siguiente expresión:

$$F(t) = Q(t) = \int_{0,\delta}^{\infty} f(s)ds$$

El límite inferior de la integral es el momento a partir del que se pueden producir los fallos que habitualmente es cero, pero en determinados casos los fallos se pueden retrasar un tiempo δ . En este escenario solo existen dos estados posibles en el que nos podemos encontrar al componente: “fallo” o “no fallo”. Cada uno de estos estados es mutuamente excluyente, lo cual quiere decir que si se da uno, no se puede dar el otro, y viceversa. La suma de ambas probabilidades es siempre igual a 1.

$$Q(t) + R(t) = 1$$

$$R(t) = 1 - Q(t)$$

$$R(t) = 1 - \int_{0,\delta}^t f(s)ds \rightarrow R(t) = \int_t^{\infty} f(s)ds$$

2.7.3 FIABILIDAD CONDICIONADA

Las funciones que hemos estado viendo anteriormente parte de que las unidades comienzan su cometido con tiempo no acumulado. El cálculo de la fiabilidad condicionada permite calcular la probabilidad del éxito de un elemento completando una tarea de una duración determinada, teniendo en cuenta y suponiendo que ese mismo elemento completó de forma satisfactoria su tarea durante un tiempo anterior. Es preciso remarcar que la función de fiabilidad condicionada puede ser considerada como la función de fiabilidad utilizada para averiguar la fiabilidad de los equipos. Su expresión es:

$$R(t/T) = \frac{R(T+t)}{R(T)}$$

Donde:

“t” es la duración de la nueva tarea.

“T” es la duración de la tarea previa que se realizó de forma correcta.

Trasladando este concepto al sujeto de este proyecto, la función condicionada nos dice que, por un lado, el equipo, componente, sistema, etc. ha completado su tarea de la forma marcada en sus especificaciones de funcionamiento

durante un tiempo “T” teniendo el origen de tiempo en “0”, y que a partir de ahora la tasa de fallos se mide durante el intervalo “T” hasta “T” + “t”.

2.7.4 FUNCIÓN DE LA TASA DE FALLOS

Permite la determinación del número de fallos ocurridos por unidad de tiempo condicionado al hecho de que el equipo ha sobrevivido a ese instante de tiempo. Esta función se expresa de la siguiente manera:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \int_{0,t} f(s)ds} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

La tasa de fallos es de especial interés en Fiabilidad principalmente en tareas de mantenimiento. A través de la observación de la tasa de fallos se puede aprender acerca de las causas del fallo y sobre la fiabilidad del producto. El comportamiento del patrón de fallos puede presentar tres formas básicas:

- ~ Tasa de fallos creciente (IFR).
- ~ Tasa de fallos decreciente (DFR).
- ~ Tasa de fallos constante (CFR).

2.7.5 VIDA MEDIA

Esta función proporciona una medida del tiempo medio de operación hasta el fallo. A esta media se le conoce con los nombres MTBF (Mean-Time-Before-Failure) y MTTF (Mean-Time-To-Failure) dependiendo de si los elementos son reparables o no. Su expresión es:

$$MTTF = \mu = \int_0^{\infty} t \cdot f(t)dt$$

2.7.6 MEDIANA Y MODA

La mediana de vida es el valor de una variable aleatoria que tiene exactamente la mitad del área de la función de densidad de probabilidad acumulada a su izquierda y la otra mitad a la derecha. La moda, para variables aleatorias

continuas, es el valor que corresponde al valor más repetido de la función de densidad de probabilidad.

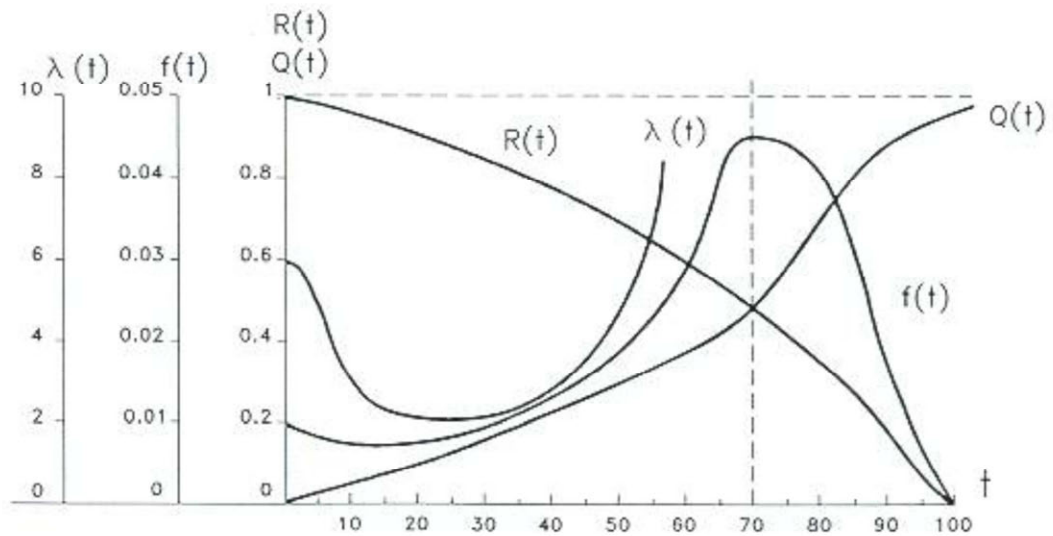


Figura 2.3: Representación gráfica general de los parámetros de fiabilidad.
(www.jmcprl.net)

2.8 DISTRIBUCIONES

2.8.1 INTRODUCCION

Anteriormente se ha planteado el modelo estadístico general para el estudio de la fiabilidad de un dispositivo en función del tiempo. Para aplicar este modelo es necesario manejar alguna distribución definida. Se han propuesto numerosas distribuciones teóricas para describir matemáticamente las leyes de fallo de diversos dispositivos. Habitualmente se usan distribuciones exponenciales, normales, de Weibull, gamma, log-normales, etc., cada una de ellas caracterizadas por su función de densidad probabilística, de la que se pueden obtener otras expresiones derivadas, más empleadas en ingeniería de la fiabilidad como son la función de fiabilidad, la función de la tasa de fallo, el tiempo medio entre fallos, la mediana, etc. Las distribuciones se considerarán más o menos complejas dependiendo de su función de densidad de probabilidad, $f(t)$.

Todas estas funciones están caracterizadas por uno o varios tipos de parámetros, que generalmente suelen ser un máximo de tres. Esos tres parámetros son conocidos como el parámetro de escala, el parámetro de forma y el parámetro de origen.

2.8.2 PARÁMETROS

- Parámetro de escala, η . Es el parámetro más común, ya que la mayoría de las distribuciones suelen tener un parámetro de escala; en el caso de que la función de distribución sea de un solo parámetro, suele ser el parámetro de escala. El parámetro de escala define alrededor de qué tiempos se concentra el mayor volumen de la distribución.
- Parámetro de forma, β . Este parámetro ayuda a definir la forma de una distribución. Algunas distribuciones como la exponencial o la normal, carecen de un parámetro de forma, ya que tienen formas predefinidas que no cambian. El efecto del parámetro de forma en una distribución está reflejado en la forma de la función de densidad de probabilidad, la función de fiabilidad y la función de tasa de fallos.
- Parámetro de origen, γ : El parámetro de localización se usa para desplazar una distribución en una dirección o en la contraria. Este parámetro define el lugar de origen de una distribución y puede ser positivo o negativo. El parámetro de localización representa un desplazamiento en el tiempo. Esto significa que la inclusión de un parámetro de localización en una distribución cuyo dominio es normalmente $[0, \infty]$, cambiará el dominio a $[\gamma, \infty]$, donde γ puede ser positivo o negativo. Esto provoca algunos efectos en términos de fiabilidad. Para un parámetro de localización positivo, indicamos que la fiabilidad para una distribución particular está siempre al cien por cien por encima del punto γ . En otras palabras, un fallo no puede ocurrir antes de este tiempo γ .

Teóricamente es ilógico creer que un fallo no ocurrirá siempre antes de un tiempo dado. Por ello, dentro de la comunidad científica hay mucha gente que no está de acuerdo con la idea de un parámetro de localización negativo, cuyo estado de fallo ocurre teóricamente antes del tiempo cero. Realmente estos fallos producidos antes del tiempo cero, representan fallos que se producen antes de que el producto sea utilizado por primera vez, o bien, problemas en la fabricación, empaquetamiento, almacenamiento, etc.

2.8.3 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS EN LAS DISTRIBUCIONES

Dado que la fiabilidad de los sistemas y la de sus componentes son dependientes, los métodos estadísticos se centran en la estimación utilizando los datos obtenidos durante las pruebas de vida de estos componentes.

Los ensayos a menudo utilizan modelos de aceleración de la vida. Sin tener en cuenta si este es o no el caso, los datos de los fallos se obtienen operando muestras de copias idénticas de un dispositivo y observando los tiempos en que ocurren los fallos. Los ensayos pueden continuar hasta que todos los elementos de la muestra hayan fallado, o bien se pueden interrumpir, en cuyo caso se dirá que el conjunto de datos obtenidos ha sido censurado. Los tiempos de fallos que se observan se convierten en el conjunto de datos al que se aplican los métodos estadísticos para obtener estimaciones de fiabilidad.

No existe un único método estadístico para calcular estimaciones; de hecho, se continúan desarrollando nuevos métodos. Los métodos más útiles se pueden clasificar en paramétricos y no paramétricos. Los métodos más extendidos son los paramétricos y las estimaciones que se obtienen se apoyan en unos análisis posteriores más detallados.

2.8.4 CURVA DE LA BAÑERA

La curva de la bañera o representación de la función de tasa de fallo, es una herramienta fundamental en un análisis de fiabilidad. Es bastante común que el comportamiento de fallos de dispositivos sea descrito en términos de sus funciones de tasa de fallos. De hecho, la idea de la curva de la bañera forma la base conceptual para gran parte del estudio de fiabilidad. La idea de la curva de la bañera es que la función de tasa de fallo para una muestra de dispositivos evoluciona como se muestra a continuación:

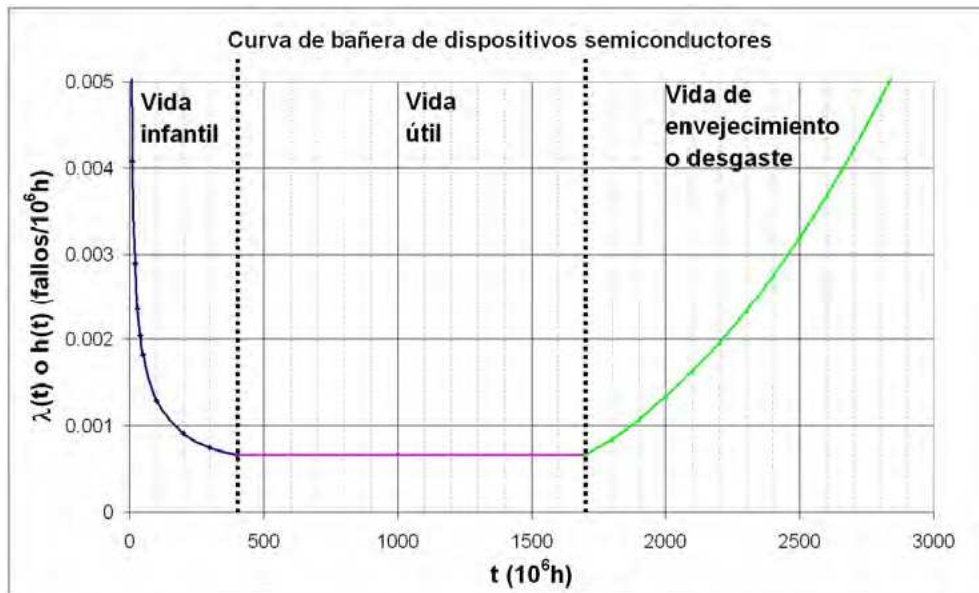


Figura 2.4: Curva de bañera de dispositivos semiconductores.

En ella se pueden apreciar tres etapas:

- **Vida infantil:** esta etapa se caracteriza por tener una elevada tasa de fallos que desciende rápidamente con el tiempo. Estos fallos pueden deberse a diferentes razones como equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo, desconocimiento del equipo por parte de los operarios o desconocimiento del procedimiento adecuado.
- **Vida útil:** etapa con una tasa de errores menor y constante. Los fallos no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas. Estas causas pueden ser accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas u otras.
- **Vida de envejecimiento:** etapa caracterizada por una tasa de errores rápidamente creciente. Los fallos se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo.

Esta es una de las múltiples formas que se han tipificado sobre los modos de fallos de equipos, sistemas y dispositivos.

Las funciones de distribución de fallos que simulan las diferentes etapas de la curva de la bañera, son la exponencial para el periodo de vida útil con tasa de fallos constante, la lognormal para el periodo de vida infantil, y la normal o gaussiana para el periodo de vida de envejecimiento. Sin embargo, en las últimas décadas se han empleado nuevas funciones desarrolladas para la fiabilidad, como la función Weibull, o funciones más flexibles, como la función Gamma, que permiten graficar en función de sus parámetros los tres periodos de vida identificados para un dispositivo electrónico con bajo estrés.

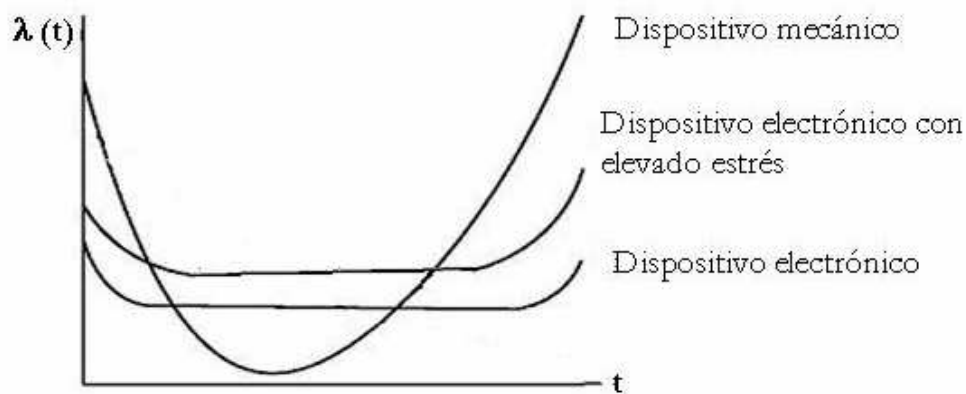


Figura 2.5: Curva de bañera según los tipos de dispositivos.

2.8.5 DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL

Es la distribución más utilizada en fiabilidad, y es la empleada para predecir la fiabilidad de equipos electrónicos a partir de la norma MIL-HDBK-217F “Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment” [MHDBK91]. La función exponencial describe el periodo de vida útil donde la tasa de fallos es constante y se aplica a la fiabilidad de la mayoría de dispositivos semiconductores con bajo estrés, una vez eliminados los fallos infantiles por defectos de fabricación. El que no existan fallos infantiles en un lote, ocurre o bien por tratarse de la producción de un dispositivo electrónico con la tecnología madura, o mediante la realización de un cribado a un lote de dispositivos para tener aún una mayor garantía de no sufrir fallos infantiles y por tanto, de tener una tasa de fallos constante durante la vida.

En el caso de la distribución exponencial, la función de densidad de probabilidad de fallos se define con un único parámetro λ :

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$$

A partir de esta, las funciones de in fiabilidad y de fiabilidad serán:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Y la función tasa de fallos:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda$$

Se puede observar en la ecuación anterior que la tasa de fallos es constante para todo t .

El cálculo de la vida media vendrá determinado por:

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

En el caso de la función exponencial la tasa de fallos es constante y el MTTF es inversamente proporcional a la tasa de fallos.

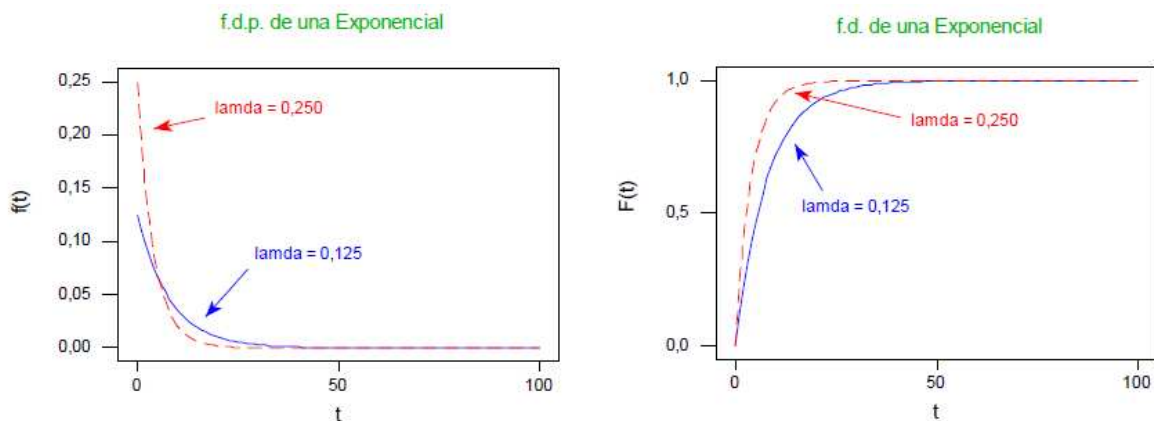


Figura 2.6: Función de distribución exponencial. (www.cybertesis.ubiobio.cl)

2.8.6 DISTRIBUCIÓN NORMAL

La distribución de probabilidad conocida como distribución normal es, por la cantidad de fenómenos que explica, la más aplicable de las distribuciones estadísticas.

A la distribución normal también se la denomina con el nombre de campana de Gauss ya que los fallos por desgaste tienden a distribuirse alrededor de una vida media de desgaste con una curva de densidad acampanada.

En el caso de que un tipo de dispositivo tenga un solo mecanismo de fallo por desgaste claramente dominante, la distribución normal o de Gauss es un modelo razonable. Los componentes mecánicos y electromecánicos, como engranajes, cojinetes, motores, relés, disyuntores, etc., fallan predominantemente por desgaste, si bien pueden tener más de un mecanismo de desgaste. En este caso, la densidad puede perder su simetría, siendo conveniente utilizar una distribución de Weibull.

La distribución normal es una distribución de variable continua que queda especificada por dos parámetros de los que depende su función de densidad y que resultan ser la media y la desviación típica de la distribución.

Su función de densidad es:

$$f(t) = \frac{e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\cdot\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

Para cualquier valor de a se verifica que: $f(\mu + a) = f(\mu - a)$ por lo que la función es simétrica respecto a μ .

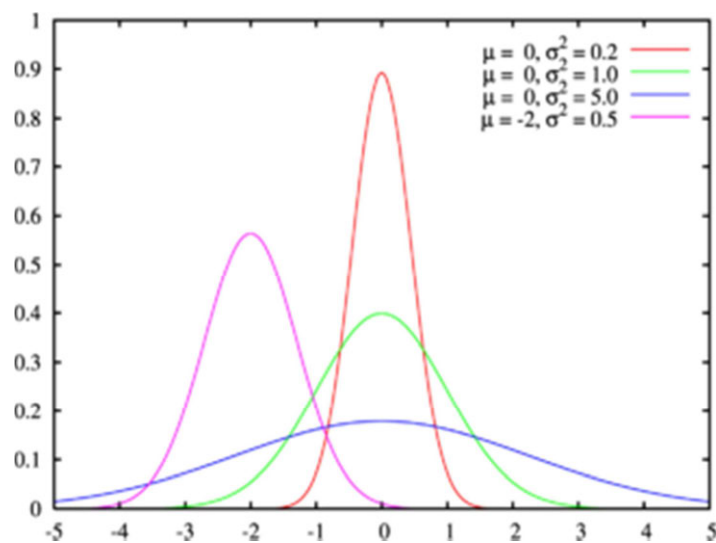


Figura 2.7: Función de densidad de probabilidad para la distribución normal.
(Wikipedia – Función de densidad de probabilidad)

2.8.7 DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL

La función distribución log-normal. Se emplea en el análisis de la fiabilidad de semiconductores y en el análisis de la vida por fatiga de ciertos componentes mecánicos. La función log-normal se define con dos parámetros, μ y σ , que son la media y la desviación estándar del logaritmo de la variable. En el caso de que el valor de σ sea grande comparado con μ , el pico máximo de la función densidad está muy cercano al origen y la tasa de fallos ($\lambda(t)$ o $h(t)$) se ajusta al periodo infantil de la curva de bañera. La distribución log-normal es también muy utilizada en estudios de reparabilidad, ya que los tiempos de reparación se distribuyen alrededor de una media, pero algunas reparaciones se prolongan de forma que queda bien representada por la cola derecha de la función densidad $f(t)$ de la función log-normal.

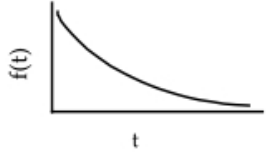
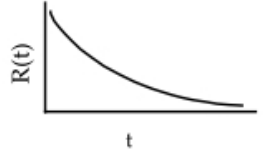
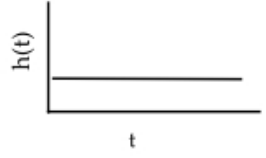
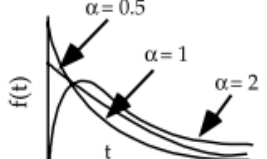
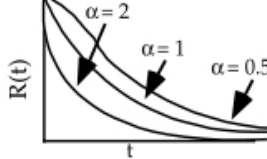
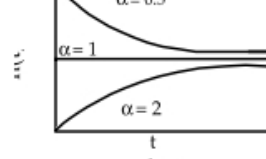
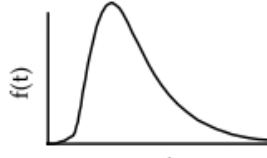
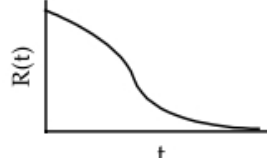


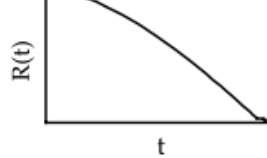
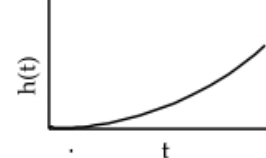
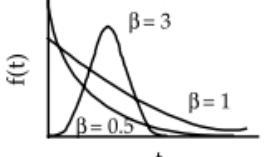
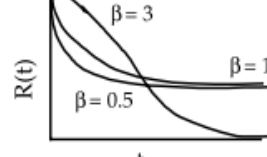
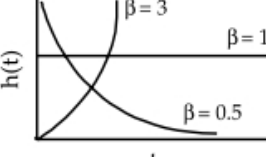
TYPE OF DISTRIBUTION	PROBABILITY DENSITY FUNCTION, $f(t)$	RELIABILITY FUNCTION $R(t) = 1 - f(t)$	HAZARD FUNCTION $h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$
EXPONENTIAL	 $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$	 $R(t) = e^{-\lambda t}$	 $h(t) = \lambda = \theta^{-1}$
GAMMA	 $f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\alpha)} (\lambda t)^{\alpha-1} e^{-\lambda t}$	 $R(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\alpha)} \int_t^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-\lambda t} dt$	 $h(t) = \frac{t^{\alpha-1} e^{-\lambda t}}{\int_t^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-\lambda t} dt}$
LOGNORMAL	 $f(t) = \frac{1}{\sigma t (2\pi)} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)^2}$	 $R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)$ See Note	 $h(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)}$
NORMAL	 $f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)^2}$	 $R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)$ See Note	 $h(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)}$
WEIBULL	 $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left[\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right]}$	 $R(t) = e^{-\left[\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right]}$	 $h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$

Figura 2.8: Funciones y parámetros de la fiabilidad. (Manual MIL-HDBK-338B)

2.8.8 DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

El investigador sueco W. Weibull (1937) estudió la vida de fatiga de los metales y propuso la distribución que lleva su nombre. La distribución de Weibull es hoy de muy amplia aplicación en fiabilidad, por su flexibilidad y por su facilidad de manejo mediante papel probabilístico.

La distribución de Weibull complementa la distribución exponencial y la normal, siendo la primera un caso particular de la distribución de Weibull.

Aunque existen dos tipos de soluciones analíticas de la distribución de Weibull (método de los momentos y método de máxima verosimilitud), ninguno de los dos se suele aplicar por su complejidad. En su lugar se utiliza la resolución gráfica basada en determinar un parámetro de origen (t_0). Un papel especial para gráficos, llamado papel de Weibull, hace esto posible. El procedimiento es gráfico y, aunque exige varios pasos y una o dos iteraciones, es relativamente directo.

2.9 DISTRIBUCION DE WEIBULL

La distribución de Weibull nos permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente clave de seguridad que pretendemos controlar y que a través de nuestro registro de fallos observamos que estos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso.

El método no determina cuáles son las variables que influyen en la tasa de fallos, tarea que quedará en manos del analista, pero al menos la distribución de Weibull facilitará la identificación de aquellos y su consideración, aparte de disponer de una herramienta de predicción de comportamientos.

La distribución de Weibull utiliza los tres parámetros explicados anteriormente.

2.9.1 PROPIEDADES ESTADÍSTICAS

Las funciones de densidad, distribución y fiabilidad para la función de Weibull son:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t - \gamma)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

El análisis de la función $F(t)$ depende de estos tres parámetros, pero es habitual trabajar considerando $\gamma = 0$, lo que simplifica el análisis a dos parámetros. La simplificación realizada permite un análisis adecuado en la inmensa mayoría de los casos, ya que el valor de γ es habitualmente 0 (esto implica que la función de probabilidad de fallo comienza en $t = 0$) o su valor es muy pequeño comparada con la otra variable temporal η .

Suponiendo $\gamma = 0$.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

La media, también llamada MTTF para elementos no reparables, de la función de distribución de Weibull viene dada por:

$$\mu = E(Y) = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Donde, $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ es el valor de la función gamma $\Gamma(x)$, para $x = 1 + \frac{1}{\beta}$

La función de tasa de fallo de la función de Weibull es:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t - \gamma)^{\beta-1}$$

Si asumimos que $\gamma = 0$, la vida media o esperanza matemática:

$$\mu = E(\gamma) = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

La función de tasa de fallo es:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t)^{\beta-1}$$

La mediana viene dada por la siguiente expresión:

$$T = \eta (\ln 2)^{\frac{1}{\beta}}$$

Y la moda:

$$M = \eta \left(1 - \frac{1}{\beta}\right)^{\frac{1}{\beta}}$$

La desviación estándar viene dada por la ecuación:

$$\sigma_T = \eta \sqrt{\Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)^2}$$

2.9.2 CARACTERÍSTICAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

Se ha comentado que la distribución de Weibull es, actualmente, muy utilizada en fiabilidad y en análisis de datos de vida debido a su versatilidad. Dependiendo del valor de sus parámetros, esta distribución puede utilizarse para modelar una amplia variedad de comportamientos. En este apartado se va a dar una visión y un análisis de cómo los valores de estos parámetros afectan a las características de la distribución tales como la curva de la función de densidad de probabilidad, la fiabilidad y la tasa de fallos.

2.9.2.1 EFECTO DE β

β es el parámetro de forma y en este tipo de distribución es el parámetro que representa la pendiente, debido a que el valor de β es igual a la pendiente de la línea de regresión de la probabilidad. Cuando se varía el valor de este parámetro, se producen efectos muy distintos en el comportamiento de la distribución. Es más, algunos valores de este parámetro permiten reducir la expresión de la función de densidad de probabilidad.

Concretamente cuando $\beta = 1$, nos queda una función de distribución de tipo exponencial de dos parámetros. Esta tiene una ecuación:

$$f(t) = \frac{1}{\eta} e^{\frac{t-\gamma}{\eta}}$$

Donde:

$$\frac{1}{\eta} = \lambda = \text{Tasa de fallos}$$

El parámetro β es un número sin dimensiones. En la siguiente figura podemos ver cómo afectan los diferentes valores de β a la función de densidad de probabilidad. Observamos que esta función puede tomar gran variedad de formas basadas en los valores del parámetro de forma β .

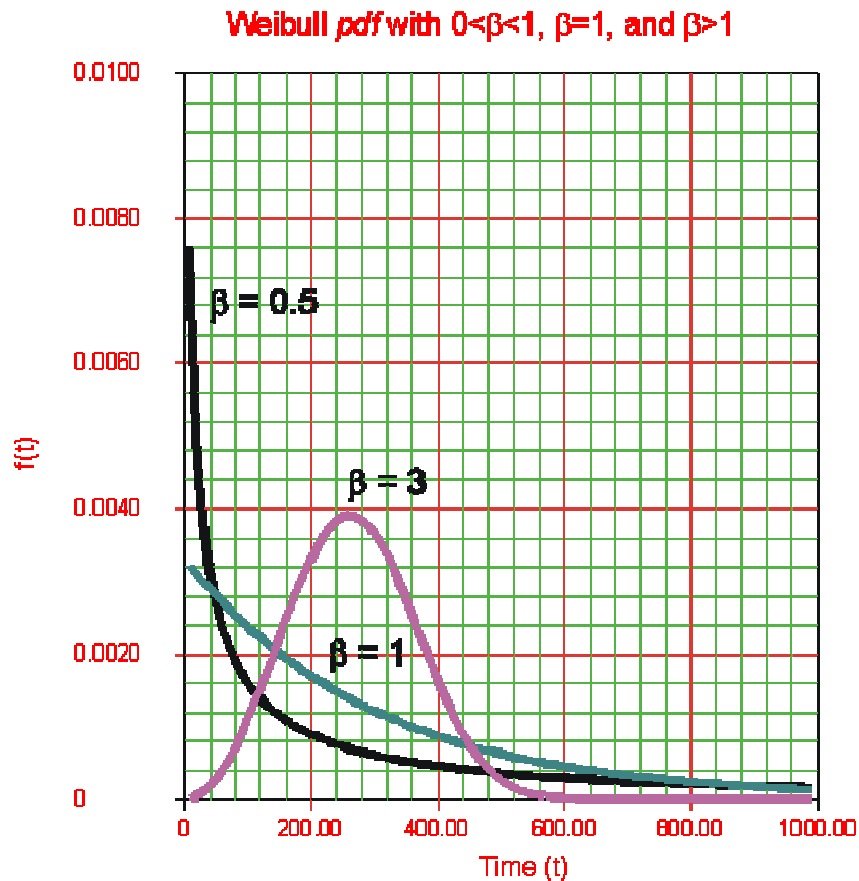


Figura 2.9: Función de densidad de probabilidad en función de β .
(weibull.com)

Interpretando la gráfica:

- Para $0 < \beta \leq 1$:
 - Si $t \rightarrow 0, f(t) \rightarrow \infty$
 - Si $t \rightarrow \infty, f(t) \rightarrow 0$
 - $f(t)$ decrece
- Para $\beta > 1$:
 - $f(t) = 0$ con $t = 0$
 - $f(t)$ aumenta cuando $t \rightarrow M$ (la moda) y disminuye a partir de ese punto.
 - Para $\beta < 2,6$ la función de densidad de probabilidad de Weibull se extiende solo por el lado derecho.

- Para $2,6 < \beta < 3,7$ la función de densidad por el lado izquierdo no se extiende más allá de cero. Como consecuencia de esto, si el parámetro β está dentro de estos márgenes, diremos que esa función se aproxima a una distribución normal.
- Para $\beta > 3,7$ la función de densidad se extiende por la izquierda.

La forma en que el valor de β relaciona el comportamiento físico de las unidades modeladas, se ve mejor si observamos cómo afecta β a la fiabilidad y a la función de tasa de fallos.

En la siguiente figura se muestra el efecto de β en función de la fiabilidad.

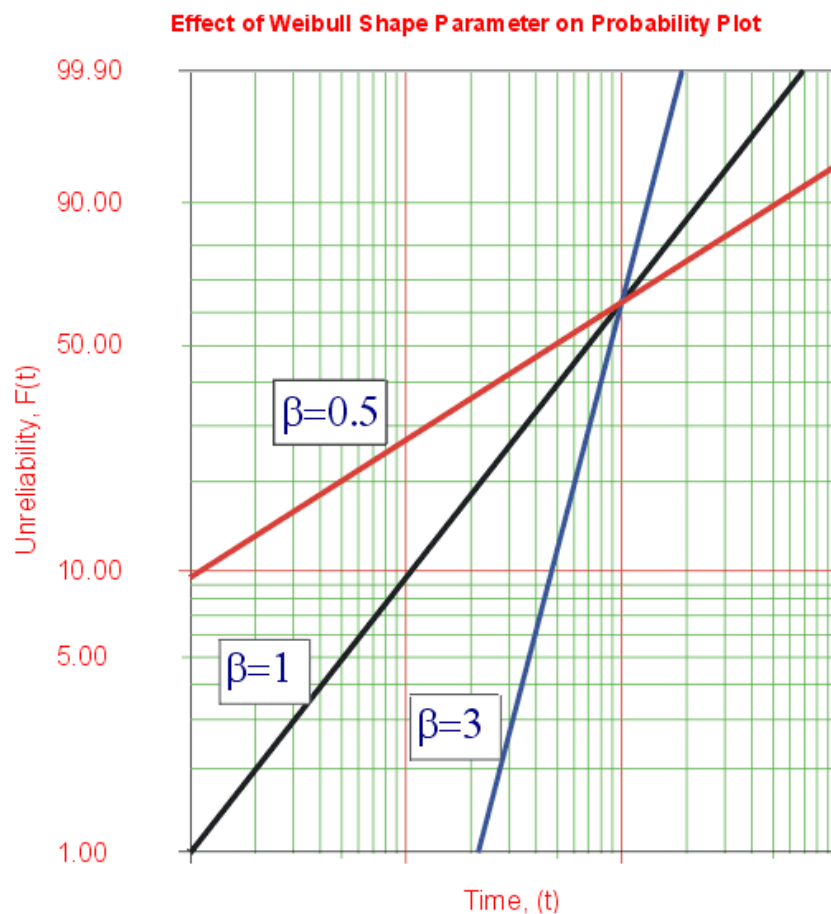


Figura 2.10: Función de fiabilidad en función de β . (weibull.com)

Interpretando la gráfica:

- Para $0 < \beta < 1$, $R(t)$ decrece bruscamente.
- Para $\beta = 1$, $R(t)$ decrece más suavemente que para el caso anterior.
- Para $\beta > 1$, $R(t)$ decrece cuando t aumenta.

Hay que tener en cuenta que el parámetro η es el mismo para cada uno de los casos representados.

A continuación se muestra la relación de β respecto a la función de tasa de fallos.

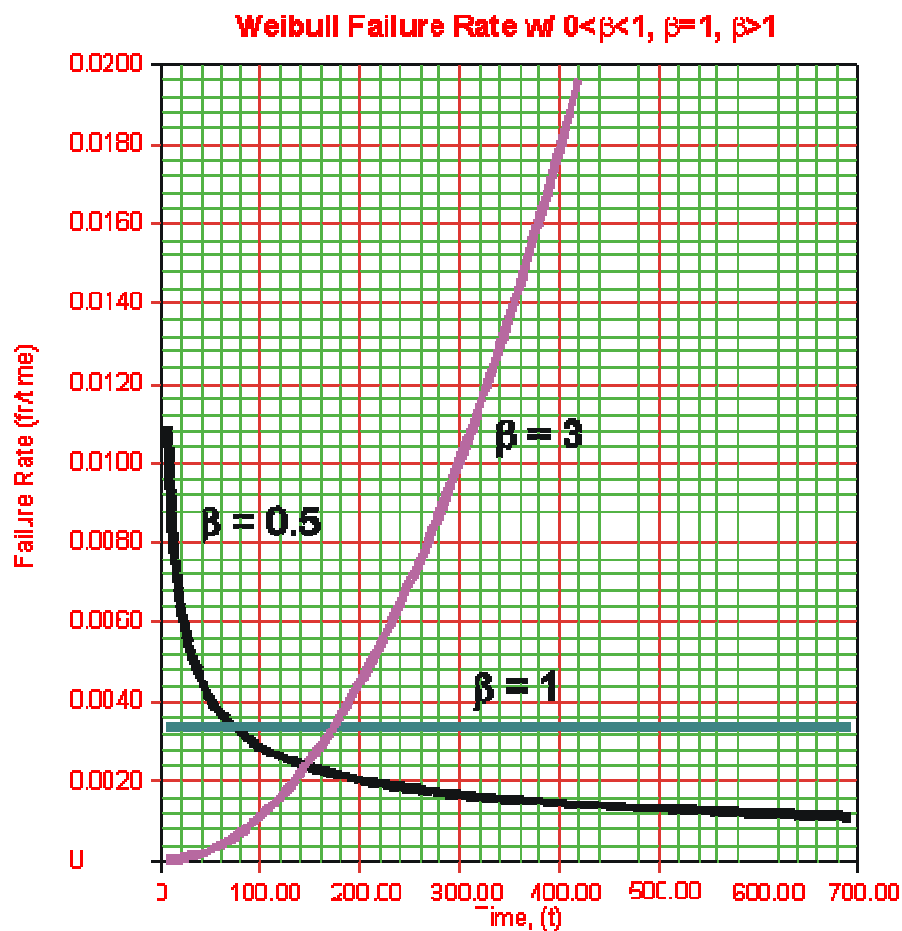


Figura 2.11: Función de la tasa de fallos en función de β . (weibull.com)

Interpretando la gráfica:

- Para $\beta < 1$, la tasa de fallos disminuye con el tiempo.
- Para $\beta = 1$, la tasa de fallos es constante en el tiempo.
- Para $\beta > 1$, la tasa de fallos aumenta con el tiempo.

Estas tres condiciones de β forman la curva de la bañera, la cual puede modelarse con la distribución de Weibull variando el parámetro β .

Hay que tener en cuenta que el parámetro η es el mismo para cada uno de los casos representados.

2.9.2.2 EFECTO DE η

Ahora vamos a estudiar el caso de mantener constante el parámetro β y variar η . Si aumentamos η , la función de probabilidad se estrecha. El área bajo la curva de la función de densidad es siempre constante e igual a 1. Por ello, el máximo de la función de densidad disminuye con el incremento de η .

A continuación, podemos observar este hecho en la figura que relaciona la función de densidad con el parámetro η .

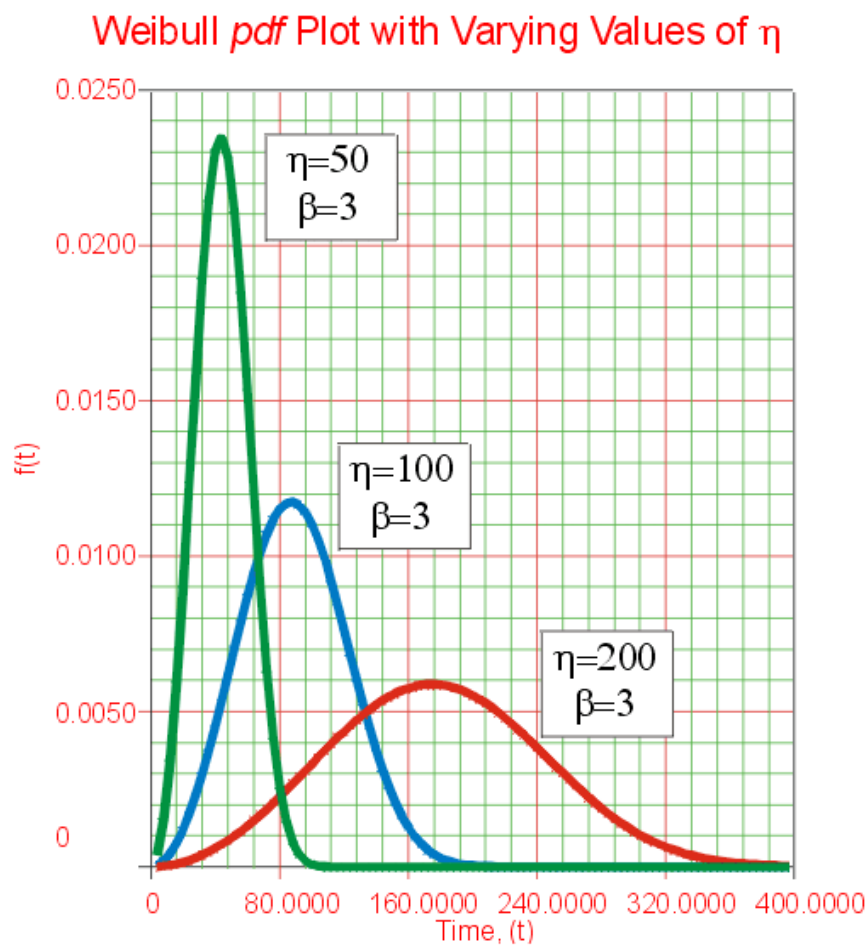


Figura 2.12: Función Weibull dependiente del valor de η . (weibull.com)

Si β y γ se mantienen constantes y aumentamos el valor de η , entonces la distribución se estira por la derecha y la altura de la campana disminuye.

- Si β y γ se mantienen constantes y disminuimos el valor de η , entonces la distribución se estrecha hacia la izquierda y la altura de la campana aumenta.
- η tiene las mismas unidades que T (horas, ciclos,...).

2.9.2.3 EFECTO DE γ

Es el parámetro de localización y sitúa la distribución en el eje de abscisas. Cambiando el valor de este parámetro podemos desplazar la distribución hacia la izquierda o hacia la derecha.

- o Cuando $\gamma = 0$ la distribución tendrá su comienzo en $T = 0$, es decir, en el origen de coordenadas.
- o Si $\gamma > 0$, la distribución empieza a la derecha del origen.
- o Si $\gamma < 0$, la distribución empieza a la izquierda del origen.
- o El periodo de 0 a $+\gamma$ es el periodo libre de fallos.
- o El parámetro γ supone que se pueden estimar todos los tiempos de fallos durante el periodo infantil. Un valor negativo de este parámetro indica que los fallos ocurrieron antes de iniciar el ensayo.
- o γ tiene las mismas unidades que T (horas, ciclos,...).

2.9.3 TRAZADO DE LA PROBABILIDAD

Para averiguar si una serie de datos de fallos siguen una distribución de Weibull y obtener los parámetros que los caracterice, es necesario linealizar la función de Weibull.

$$\frac{1}{(1 - F(t))} = e^{\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

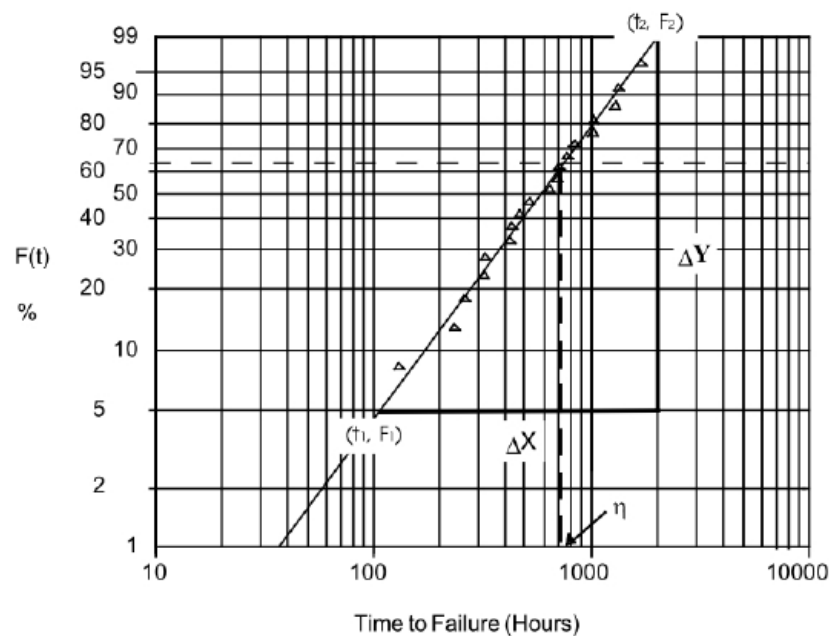
Operando:

$$y = \ln\left(\ln\frac{1}{1-F(t)}\right)$$

$$x = \ln(t)$$

La representación de y con respecto a x es denominada representación gráfica de Weibull. Si la representación de y con respecto a x se ajusta a una línea recta, se puede deducir que la fiabilidad del elemento bajo ensayo sigue una distribución de Weibull. A partir de la recta obtenida y mediante una regresión lineal se evalúan los parámetros de la distribución β y η .

La forma tradicional de evaluar los parámetros de Weibull era utilizar el gráfico probabilístico de Weibull para realizar la representación de la probabilidad de fallo ($F(t)$), y extraer los parámetros de modo gráfico. Sin embargo, en la actualidad se utilizan herramientas de hojas de cálculo o, de forma más específica, herramientas estadísticas de fiabilidad para evaluar estos dos parámetros. En la figura 37 se observa un gráfico probabilístico de Weibull con los resultados de un ensayo acelerado (triángulos), sobre el que se ha reflejado el modo de obtener los dos parámetros de la función β y η , y su valor.



$$\eta = 739.41$$

$$\beta = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{\ln\ln\left(\frac{1}{1-F(t_2)}\right) - \ln\ln\left(\frac{1}{1-F(t_1)}\right)}{\ln t_2 - \ln t_1} = 1.53$$

Figura 2.13: Diagrama de Weibull y extracción de los parámetros de la función. (Manual MIL-HDBK-338B)

2.10 CONCLUSIONES CAPÍTULO 2

En este capítulo se ha realizado una introducción a la teoría de fiabilidad para facilitar la comprensión de los resultados de los ensayos acelerados de fiabilidad.

- En la primera parte se han descrito los conceptos y definiciones de fiabilidad más importantes y la clasificación de tipos de fallo que pueden ocurrir.
- Seguidamente se han descrito las funciones más utilizadas en fiabilidad, como la función densidad de probabilidad de fallos, $f(t)$, función probabilidad de fallos, $F(t)$ o $Q(t)$, función fiabilidad, $R(t)$, y la función tasa de fallos, $\lambda(t)$.
- También se ha elaborado una introducción a las funciones estadísticas de distribución, describiendo las más utilizadas en fiabilidad, como la log-normal, normal, exponencial y Weibull. Se ha descrito la importancia de la función estadística de Weibull en la teoría de fiabilidad, y los métodos para evaluar los parámetros de Weibull a partir del resultado del ensayo reflejado en papel probabilístico de Weibull.

Capítulo 3

Ensayos

3. ENSAYOS

3.1 INTRODUCCIÓN

Después de la fabricación de un producto existe un interés por observar cómo se comporta a lo largo de su vida, esto es, por estudiar las posibles causas por las que el producto puede fallar, los efectos que producen estos fallos y los aspectos del diseño, fabricación y mantenimiento que puedan afectarles.

Para estudiar este comportamiento es necesaria la realización de ensayos de fiabilidad que evalúen el diseño, el desarrollo, la calidad y el servicio.

Estos ensayos consisten en pruebas funcionales y ambientales que determinan las condiciones de funcionamiento y los esfuerzos internos y ambientales que el dispositivo bajo ensayo es capaz de soportar. Dependiendo del ensayo se obtienen datos cuantitativos y cualitativos de la fiabilidad del dispositivo.

3.2 CLASES DE ENSAYOS DE FIABILIDAD

Los ensayos de fiabilidad se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Ensayos de medición y demostración de la fiabilidad.
- Ensayos de variación de parámetros.
- Ensayos de investigación de los modos y mecanismos de fallo.
- Ensayos de cribado de componentes.

A continuación se hace una breve descripción de cada uno de ellos.

3.2.1 ENSAYOS DE MEDICIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE LA FIABILIDAD

Debido a que la fiabilidad es una probabilidad de funcionamiento, es necesario realizar una estimación estadística de la fiabilidad o de los parámetros que la

determinan para demostrar con un determinado nivel de confianza que el dispositivo cumple con un requisito.

Existen dispositivos de un solo uso, dentro de los cuales encontramos los que necesitan un estudio de fiabilidad previo a su utilización (ejemplo: sistema de guiado de misiles) y existen otros en que su utilización implica su destrucción (ejemplo: fusible), imposibilitando realizar un ensayo previo. En este segundo caso se necesita realizar un muestreo por atributos (éxito-fracaso), o por variables (medidas).

Habitualmente la fiabilidad de los dispositivos depende del tiempo y es necesario someterlos a ensayos de duración de vida. Estos ensayos tienen como objetivo estudiar los tiempos de fallo que definen la distribución de fallos con el tiempo del dispositivo.

Los datos utilizados en este tipo de ensayos deben ser analizados meticulosamente, para asegurar que son el resultado de un muestreo aleatorio.

3.2.2 ENSAYOS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS

Para este tipo de ensayos es necesario conocer cómo varían los parámetros de los dispositivos por efecto del envejecimiento, en función de los esfuerzos y del tiempo. Este tipo de ensayos consiste en realizar mediciones sucesivas de los parámetros a lo largo de extensos periodos de funcionamiento. La variación de los parámetros de una muestra se analiza mediante distribuciones estadísticas.

3.2.3 ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN DE MODOS Y MECANISMOS DE FALLO

El objetivo de estos ensayos es conocer las causas físicas de fallo de los componentes.

Es usual la utilización de información obtenida sobre los fallos de otros ensayos realizados con fines diferentes.

Al llevar a cabo ensayos acelerados, elevando el nivel de esfuerzo, se posibilita la aparición de causas de fallo que no aparecían en condiciones normales de funcionamiento, o incluso la eliminación de otras que si se producían. Por ello, es muy importante conocer los mecanismos de fallos en campo, ya que la

aparición en los ensayos acelerados de mecanismos de fallos diferentes implicaría que los ensayos acelerados no están bien diseñados.

Además, el conocimiento de los modos y mecanismos de fallos es imprescindible para realizar cambios en el diseño, con el objetivo de conseguir una mejora de la fiabilidad del dispositivo.

3.2.4 ENSAYOS DE CRIBADO

Los ensayos de esta categoría tienen por objeto eliminar las unidades con taras infantiles y aquellas que presentan síntomas que orienten a una vida corta. Se realizan pruebas e inspecciones a toda la población para dar con los más aptos. El cribado puede hacerse mediante un solo ensayo o abarcar varios, donde cada uno es eliminatorio.

La purga es el ensayo de cribado más común y, consiste en someter un lote a un proceso de envejecimiento para inducir fallos infantiles. Deberán ser sometidos a este proceso, aquellos componentes que tengan inicialmente una tasa de fallo decreciente. Una vez que los componentes con tasas de fallo infantiles son excluidas de la muestra, el resto de componentes tendrá una vida muy superior. Este tipo de ensayos es muy utilizado en aplicaciones donde se requieren periodos de vida muy largos, como dispositivos que van a ser utilizados en aplicaciones espaciales.

La duración habitual del cribado de componentes electrónicos es de 168 horas (1 semana).

Si el dispositivo está orientado a durar “h” horas, el tiempo óptimo de purga debe ser aquel que asegure una fiabilidad máxima:

$$\text{Máx}(R) = \text{Máx} \left(\exp \left[- \int_{t_0}^{t_0+h} z(t) dt \right] \right)$$

Lo que equivale a encontrar el valor de t_0 que hace mínimo el valor absoluto del exponente:

$$\text{Min} \left(\int_{t_0}^{t_0+h} z(t) dt \right)$$

Además de descartar las unidades que fallen, la criba también desecha aquellas que hayan mostrado síntomas que revelen condiciones inadecuadas de funcionamiento.

Todo esto hace que un lote que haya pasado el proceso de criba, presente un conjunto de unidades más estable y homogéneo.

3.3 ENSAYOS DE VIDA

3.3.1 INTRODUCCIÓN

Los ensayos de vida a menudo son ensayos largos y costosos, ya que exigen un funcionamiento continuado, en condiciones ambientales específicas, de una muestra, hasta que fallen el total o parte de las unidades. A menudo, además es necesario realizar varios ensayos con el objetivo de evaluar la aceleración de los ensayos realizados.

La finalidad del ensayo sería estimar los parámetros de la distribución de fallos para el dispositivo en cuestión. En caso de no admitir una hipótesis de distribución, los ensayos no paramétricos resultan aún más costosos.

3.3.2 HIPÓTESIS DE DISTRIBUCIÓN

Las distribuciones que representan el tiempo hasta el fallo o el tiempo entre fallos más comunes, son la exponencial, la normal, la de Weibull y la Gamma.

Una buena elección de una hipótesis de distribución puede apoyarse en experiencias anteriores con el mismo tipo de dispositivo, en métodos analíticos o en procedimientos gráficos, como el papel probabilístico.

3.3.3 ESFUERZOS Y CONDICIONES AMBIENTALES

Para estudiar la fiabilidad de un dispositivo sometido a determinados esfuerzos y condiciones ambientales, es necesario realizar el ensayo simulando esas

condiciones concretas. Lo ideal sería realizar el ensayo en el mismo campo real de utilización, pero debido a su larga duración, normalmente se llevan a cabo en laboratorios donde se simulan los esfuerzos y las condiciones ambientales, y además, aumentando el esfuerzo de uno de ellos se puede acelerar el ensayo. En las ocasiones en las que no sea posible simular estas condiciones, obligatoriamente tendrán que llevarse a cabo en el ambiente operativo.

Las especificaciones de demostración de la fiabilidad deben contener toda la información sobre las condiciones que se han de aplicar durante los ensayos.

3.3.4 PROGRAMAS DE ENSAYOS DE FIABILIDAD.

Los ensayos de fiabilidad especificados para el desarrollo y producción de un dispositivo deben establecerse de tal forma que obtenga la máxima información con el mínimo coste.

Se realizan ensayos de fiabilidad desde las primeras fases del desarrollo de un producto.

Para establecer un programa de ensayos de demostración de la fiabilidad hay que tener en cuenta:

- Definición del dispositivo. Descripción de su funcionamiento y manejo. Definir lo que constituye un fallo.
- Requisitos. Valores especificados para la medida de fiabilidad.
- Condiciones ambientales de ensayo. Factores ambientales.
- Instrucciones y especificaciones de manejo del dispositivo y del equipo de ensayo. Mantenimiento preventivo que se debe aplicar.
- Hipótesis de distribución. Diseño estadístico del experimento. Selección de un plan de muestreo ya existente o diseño de uno especial.
- Registro, análisis y exploración de datos. Cálculos necesarios para la estimación de parámetros.
- Análisis de fallos. Determinación de modos, mecanismos, causas de fallos. Informes de fallos.
- Informes de ensayo.
- Coste del ensayo. Personal.

3.4 ENSAYOS ACELERADOS DE VIDA

3.4.1 INTRODUCCIÓN

La aceleración de un ensayo de vida es el aumento de la exposición al fallo por unidad de tiempo. Este aumento se puede conseguir elevando el nivel de esfuerzo interno o la severidad ambiental.

Esta aceleración ha de ser razonable y no sobrepasar los límites que modificarían los mecanismos de fallo. Hay que buscar las condiciones más parecidas a las reales pero consiguiendo que fallen en menos tiempo.

Los diferentes tipos de ensayos acelerados proporcionan información diferente acerca del producto y sus mecanismos de fallo. Se pueden dividir en dos tipos fundamentales de ensayos acelerados: ensayos cualitativos y ensayos cuantitativos.

3.4.2 ENSAYOS ACELERADOS CUALITATIVOS

Este tipo de ensayos proporciona información únicamente sobre los modos de fallo. Se requieren pocas muestras de componentes que serán sometidas a un nivel, o varios, de estrés. Los componentes que sobrevivan, son los que pasan el test, y los que fallan, se analizan sus mecanismos de fallo con el objetivo de minimizarlos en futuros diseños; de este modo se puede mejorar el diseño de un producto eliminando las causas que producen el fallo.

Inicialmente se utilizaron para descubrir posibles modos de fallo; sin embargo, si no se dispone de un diseño de ensayo apropiado, es muy difícil encontrar la causa real de fallo. Un buen ensayo cualitativo revela eficazmente los modos de fallos posibles durante la vida de un producto en condiciones normales.

No están diseñados para cuantificar la fiabilidad de un producto operando en condiciones normales, pero proporcionan información importante necesaria para emplear durante los ensayos cuantitativos y obtener resultados satisfactorios.

El inconveniente de este tipo de ensayos es que no proporcionan información cuantitativa sobre la fiabilidad de un producto.

3.4.3 ENSAYOS ACELERADOS CUANTITATIVOS

Los ensayos acelerados cuantitativos sirven para cuantificar la ley de vida de un producto funcionando en condiciones normales y proporcionar información de su fiabilidad, como la determinación de la probabilidad de fallo, la vida media, la tasa de fallos y los costes de la fiabilidad.

Pueden realizarse utilizando dos métodos: uso de la tasa de aceleración, haciendo trabajar al componente de forma continua y mediante ensayos acelerados que se consiguen con unas condiciones de esfuerzo superiores a las normales de funcionamiento.

Mediante la utilización de tasa acelerada se obtiene información que puede analizarse mediante los métodos típicos de los datos de vida.

Para todos los ensayos, la información deseada es la referente al tiempo de fallo de un producto a través de la observación del evento fallo. La mayoría de los componentes o sistemas pretende realizar sus funciones de forma satisfactoria durante largos periodos de tiempo.

Los dos métodos de aceleración comentados son muy adecuados para obtener la información necesaria del producto antes de que acabe su tiempo de vida.

3.4.3.1 MÉTODO DE TASA DE ACELERACIÓN

Para productos que no funcionan continuamente puede aumentarse el tiempo de funcionamiento para obtener los datos de fiabilidad de ese producto; es conocido como aumento de la tasa de aceleración.

Otro método de tasa de aceleración es considerar el efecto del estrés al que son sometidas las unidades, encontrar cambios de encendido y apagado para ciertas unidades, o el sobrecalentamiento debido al uso continuo. Hay que tener en cuenta todos estos efectos que puedan aparecer.

Los datos obtenidos a través de este método de ensayo son analizados con los mismos métodos que se utilizan para analizar de forma general los tiempos de fallo.

La limitación de uso de este método de tasa acelerada se alcanza cuando los productos requieren un uso tan elevado para ver posibles fallos que con estos métodos de aceleración se tardaría mucho en observar posibles

defectos en este tipo de productos. En estos casos se debe aplicar el método llamado aceleración por sobreesfuerzo.

3.4.3.2 ACELERACIÓN POR SOBREENSFUERZO

Para acelerar la vida de productos de un uso muy elevado de forma continua, hay que someterlos a unos niveles de esfuerzo mayores de los que soportan en las condiciones habituales de funcionamiento. Los datos de tiempos de fallo obtenidos bajo esas condiciones de esfuerzo pueden extrapolarse a las condiciones normales de funcionamiento mediante modelos de aceleración de vida. Los ensayos de vida acelerados pueden realizarse a altas o bajas temperaturas, humedad, tensión, presión, vibración, etc. De esta forma pueden acelerar la vida de los productos que requieren de este tipo de ensayos.

También se puede emplear una combinación de ellos, como por ejemplo, una cámara climática que simula condiciones de temperatura y humedad, en combinación con una aceleración por corriente, ejemplo práctico de la realización de este PFC.

Los niveles de esfuerzo que se pueden aplicar para acelerar la aparición de fallos, no deben introducir nuevos mecanismos o modos de fallos que no aparecen en condiciones normales de funcionamiento. Normalmente, estos niveles de esfuerzo se encuentran fuera de la especificación del producto pero dentro de los límites del diseño.

La elección de estos niveles de esfuerzo y los procesos de configuración son muy importantes.

3.4.3.3 ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de datos de vida determina, mediante el uso de distribuciones estadísticas, la distribución de vida que describe los tiempos de fallo de un producto. Se pretende determinar la función de densidad de probabilidad de los tiempos de fallo, en condiciones normales de uso del producto. A partir de la densidad de probabilidad de fallos se pueden obtener las figuras más importantes de la ley de vida del producto.

Una vez que se ha obtenido esta función, se puede calcular la fiabilidad deseada de ciertos aspectos del producto como son: porcentaje de fallo bajo garantía, valoración de riesgos, comparación de diseño, periodo de desgaste. En el análisis de datos de vida puede determinarse fácilmente la función de densidad de probabilidad de los tiempos de fallo en condiciones normales, utilizando tiempos de fallo/suspensión de dato y la función de distribución, tales como la distribución de Weibull, exponencial, etc.

En el análisis de datos acelerados, nos enfrentamos a la forma de extrapolar los datos de vida obtenidos en los ensayos acelerados, a las condiciones normales de uso. Para lograr esto, se necesita un modelo que permita extrapolar los datos recogidos en condiciones aceleradas para llegar a una estimación de las características durante el nivel de uso. Existen diferentes modelos en función del esfuerzo seleccionado para acelerar el ensayo que permiten extrapolar los resultados del ensayo acelerado a condiciones normales de funcionamiento.

Durante los ensayos de vida acelerados, definidos en unas condiciones de esfuerzo mayores que aquellas a las que se ve sometido el producto en su uso habitual, los datos obtenidos pueden utilizarse para obtener la función de densidad de probabilidad en esas condiciones de estrés y poder así hacer estimaciones y predicciones del comportamiento de ese producto, pero en unas condiciones de estrés mayores.

Sin embargo, el objetivo de los ensayos acelerados es trasladar los datos obtenidos a niveles reales de funcionamiento para obtener las estimaciones y predicciones del comportamiento futuro del producto, pero en las condiciones más habituales de funcionamiento.

Habitualmente, la utilización de los modelos de extrapolación requiere un mínimo de dos niveles de esfuerzo para realizar una extrapolación correcta.

3.4.4 MÉTODO DE ANALISIS

Hay una serie de pasos que hay que seguir para analizar los datos recogidos de los diferentes ensayos acelerados. El primero de ellos es seleccionar la función de distribución de vida más apropiada. La distribución exponencial en el pasado fue ampliamente utilizada por su simplicidad; actualmente la distribución de Weibull y la lognormal, que requieren la realización de cálculos más complejos, son muy utilizadas porque son más apropiadas para la mayoría de los casos.

Una vez elegida la distribución de vida más adecuada, el siguiente paso es seleccionar el modelo que describe la característica de vida de la distribución de uno de los niveles de esfuerzo al otro. La característica de vida puede ser una medida tal como la media, mediana, $R(x)$, $F(x)$, etc. Esta característica de vida es expresada como una función del esfuerzo.

Características de vida típicas para algunas distribuciones son las que aparecen en la siguiente tabla:

Distribución	Parámetros	Características de Vida
Weibull	β, η	Parámetro de escala, η
Exponencial	λ	Media $1/\lambda$
Normal	μ, σ	Media, Desviación típica

Tabla 3.1: Tabla de características de vida típicas.

El tercer paso es elegir el método que se va a utilizar para realizar la estimación de los parámetros; algunos de estos métodos son los métodos gráficos, el método de los cuadrados mínimos y el método de máximos de probabilidad.

Una vez definido todo lo necesario, se empiezan a realizar los ensayos acelerados, y el posterior análisis de los datos obtenidos nos permitirán obtener una variedad de información acerca del producto, como por ejemplo, el tiempo de garantía, la tasa de fallos instantáneos, la vida media, que proporciona una medida del tiempo medio de operación hasta el fallo, etc.

3.4.5 NIVELES DE ESFUERZO

Uno de los aspectos más discutidos para la realización de ensayos acelerados, es considerar un nivel de esfuerzo constante con respecto al tiempo para las unidades que se deben estresar. En la vida real, se pueden considerar diferentes tipos de carga cuando se realiza un ensayo acelerado. Estos se pueden clasificar en función de la dependencia del nivel de esfuerzo con

respecto al tiempo. Existen dos posibles esquemas de niveles de esfuerzo, niveles en los que el esfuerzo es independiente del tiempo y niveles que dependen del tiempo. El análisis matemático, modelos y suposiciones varían dependiendo de la relación tiempo-esfuerzo.

3.4.5.1 NIVELES DE ESFUERZO INDEPENDIENTES DEL TIEMPO

Cuando el nivel de esfuerzo es independiente del tiempo, el esfuerzo aplicado a la muestra no varía; por ejemplo, si la temperatura supone un esfuerzo térmico, cada unidad será sometida a las mismas condiciones de esfuerzo de temperatura.

Este tipo de nivel de esfuerzo constante tiene muchas ventajas sobre los niveles de esfuerzo dependientes del tiempo. Algunas de ellas son:

1. Para la mayoría de los productos se supone que en condiciones normales de funcionamiento el esfuerzo al que están sometidos es constante.
2. Es más fácil realizar ensayos con niveles de esfuerzo constantes.
3. Es más fácil cuantificar un ensayo de nivel de esfuerzo constante.
4. Existen modelos para el análisis de los datos obtenidos.
5. La extrapolación de los datos obtenidos para este tipo de nivel de esfuerzo es más exacto.

3.4.5.2 NIVELES DE ESFUERZO DEPENDIENTES DEL TIEMPO

Cuando el nivel de esfuerzo depende del tiempo, el producto está sujeto a un nivel de esfuerzo que varía con el tiempo. Productos sujetos a niveles de esfuerzo dependientes del tiempo originarán fallos más rápidamente, y los modelos a los que se ajustan son considerados por muchos como el objetivo de los ensayos de vida acelerados, ya que en un único ensayo se puede conseguir mucha más información. Normalmente las unidades de las muestras para ensayar son sometidas durante intervalos de tiempos a un estrés constante, cambiando a otro nivel de estrés cuando ese intervalo de tiempo termina, normalmente de forma incremental.

3.5 CONCLUSIONES CAPÍTULO 3

En este capítulo se han descrito los tipos de ensayos más utilizados en fiabilidad.

Se ha hecho una clasificación de los ensayos principales y una breve descripción de cada uno de ellos. También se ha resumido la teoría de los ensayos de vida y los ensayos acelerados, incluyendo sus características y tipos. Analizando los posibles resultados obtenidos y las funciones estadísticas más apropiadas para su análisis.

Capítulo 4

Descripción del Ensayo

4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

4.1 INTRODUCCIÓN DEL ENSAYO

El objetivo principal es evaluar la evolución de la potencia lumínica con el paso del tiempo en los LEDs rojos de alta luminosidad, HLMP-ED31-SV0DD, realizando un ensayo de vida acelerado llamado 85-85, es decir, acelerando su ciclo de vida en unas condiciones de degradación ambientales de 85° C y 85 % de Humedad Relativa, para lo que se necesita una cámara climática que simule estas condiciones.

Otro factor de aceleración consiste en inyectar corriente a los LEDs durante su ciclo de degradación ambiental. Para estudiar cómo influye este factor, se montan diferentes tiras de LEDs, por cada una de las cuales circulará un nivel de corriente distinto.

Se pretende analizar la evolución de la degradación respecto a los factores degradantes que intervienen.

El desarrollo del ensayo se puede dividir en dos bloques principales: la obtención de medidas y degradación dentro de la cámara, y la obtención de medidas y resultados en el exterior.

4.2 ENTORNO DE TEST

En este apartado se describen todos los elementos que han intervenido en el desarrollo de este proyecto.

Se puede dividir en tres grupos principales:

- **Instrumentación.** Todos los equipos electrónicos utilizados en cualquier etapa del ensayo.
- **Hardware.** Engloba los montajes y circuitos desarrollados a lo largo del Proyecto Fin de Carrera.
- **Software.** Programas y herramientas para el desarrollo y control, utilizados desde un PC.

A continuación se va a describir cada una de estas partes.

4.2.1 INSTRUMENTACIÓN

En este apartado se van a explicar todos los equipos electrónicos que han sido necesarios para la realización del ensayo. Se da una breve descripción de la misión que cumplen así como de sus características principales.

A lo largo del PFC han sido necesarios numerosos equipos debido a las diferentes necesidades propias del ensayo y a que se utilizan dos puestos de trabajo independientes. A continuación se realiza una breve descripción de cada uno de ellos.

4.2.1.1 CÁMARA CLIMÁTICA HERAUS VOSTCH VK 108/250

Es una cámara de calor/humedad que permite simular condiciones ambientales, tanto de temperatura como de humedad.



Figura 4.1: Cámara Heraus Vostch VK 108/250. Aspecto físico.

Tiene una dimensión de 1,10m x 1,60m x 1,98m y pesa aproximadamente 250 Kg.

Su potencia máxima son 7.500 W.

El rango de funcionamiento para trabajos con función de humedad es:

Temperatura: $+5^{\circ}\text{C} \leq t \leq +90^{\circ}\text{C}$, con intervalos de 1°C .

Humedad: $10\% \leq \text{RH} \leq 100\%$, con intervalos de 1%.

*Rango de valores para una presión total de 1013 milibares.

Estas condiciones, son suficientemente válidas para el desarrollo del ensayo, de valores de degradación 85°C y 85% HR.

El panel de mando que controla el funcionamiento de la cámara está situado debajo de la puerta.



Figura 4.2: Panel de mando de la cámara. Aspecto físico.

4.2.1.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN AGILENT E3631A

Es una de las fuentes de alimentación que se utiliza, en concreto, para la degradación de los LEDs en el interior de la cámara. Los LEDs están conectados en grupos de 10 a la misma corriente de inyección. En el ensayo se utilizan dos de las tres salidas de las que dispone, (salida +25 V, 1A y salida -25 V, 1A) para alimentar las dos primeras tiras de LEDs, la de 10 mA y la de 20 mA.

Se conecta a los demás equipos a través de una conexión GPIB que a su vez, permite programarla y controlarla.



Figura 4.3: Fuente de alimentación Agilent 3631A. Aspecto físico.

Las características principales de esta fuente de alimentación son:

- ~ Tres salidas independientes:
 1. 0 a +6 V, 0 a 5 A.
 2. 0 a +25 V, 0 a 1 A.

3. 0 a –25 V, 0 a 1 A.

Las salidas 2 y 3 se pueden conectar en serie con la posibilidad de aportar 50 V a 1 A.

- ~ Potencia máxima de salida: 80 W.
- ~ Limitación de tensión y corriente de salida.
- ~ Protección por sobretensión y sobrecorriente.
- ~ Regulación de línea y carga: 0.01%.
- ~ Bajos niveles de rizado y ruido.
- ~ Medición dual de tensión y corriente.
- ~ Alta precisión y resolución:

Output Number	1	2	3
Accuracy ¹ 12 Months (25 °C + 5 °C), ± (% output + offset)			
Programming			
Voltage	0.1% + 5 mV	0.05% + 20 mV	
Current	0.2% + 10 mA	0.15% + 4 mA	
Readback			
Voltage	0.1% + 5 mV	0.05% + 10 mV	
Current	0.2% + 10 mA	0.15% + 4 mA	
Resolution			
Program	0.5 mV/0.5 mA	1.5 mV/0.1 mA	
Readback	0.5 mV/0.5 mA	1.5 mV/0.1 mA	
Meter	1 mV/1 mA	10 mV/1 mA	

Tabla 4.1: Tabla de precisión y resolución, Agilent 3631A. Datasheet.

- ~ Activación o desactivación de las salidas.
- ~ Se puede controlar de forma remota: Interfaces GPIB y RS-232.

4.2.1.3 FUENTE DE ALIMENTACIÓN XANTREX XDL 35-5TP

Esta es otra de las fuentes de alimentación utilizada, para la medición de curvas I/V fuera de la cámara climática. Son necesarias dos salidas de las tres de que dispone. La salida 1, para controlar un módulo Peltier, con el que se controla la temperatura del LED que se está caracterizando, y la salida 2, para inyectar los valores de tensión de las curvas I/V.

Se conecta al PC a través de una conexión USB que permite programarla.



Figura 4.4: Fuente de Alimentación Xantrex XDL 35-5TP. Aspecto físico.

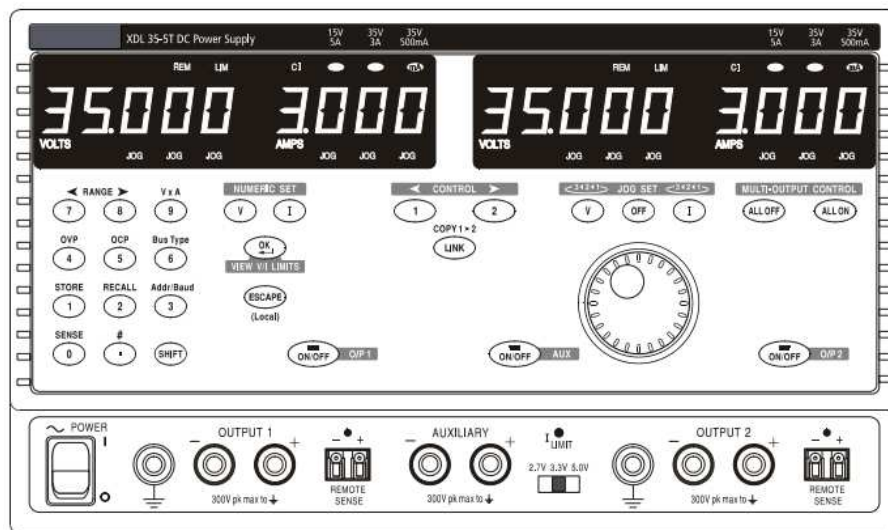


Figura 4.5: Fuente de Alimentación Xantrex XDL 35-5TP. Datasheet.

Las características principales de esta fuente de alimentación son:

- ~ Triple salida. Salidas totalmente aisladas para mayor flexibilidad.
- ~ Rangos de salida múltiples de tensión y de corriente.

- ~ Potencia máxima de salida: 215 W.
- ~ Bajos niveles de rizado y ruido.
- ~ Excelente dinámica.
- ~ Resolución: 1 mV para tensión y 0,1 mA para corriente.
- ~ Interfaz de usuario avanzada con entrada numérica directa por teclado o con el control rotatorio de tensión y corriente.
- ~ Terminales de sensado local o remoto.
- ~ Teclas y leyendas del panel frontal iluminadas.
- ~ Limitadores de corriente y tensión.
- ~ Hasta 30 memorias de configuraciones de set-up, memoria no volátil.
- ~ Indicador de la potencia de salida actual, con resolución 0,01 W.
- ~ Modo de protección para panel de control manual cuando se programa vía interfaz.
- ~ Protección contra sobre tensión y sobrecorriente.
- ~ Protección contra sobrecalentamiento.
- ~ Terminales de sensado protegidos.
- ~ Se puede controlar de forma remota: Interfaces GPIB, USB y RS-232.

Se puede observar que es una fuente de alimentación de grandes prestaciones y gran versatilidad.

Ametek es ahora el fabricante de las fuentes de alimentación que llevaban la marca Xantrex, la cual en la actualidad ha pasado a llamarse Sorensen.

4.2.1.4 FUENTE DE ALIMENTACIÓN BK PRECISION 1672

Por último presentamos la tercera fuente de alimentación que se ha utilizado en este PFC. Al igual que las dos anteriores, posee también tres salidas, pero dispone de un interfaz más básico y sin posibilidad de controlarse de forma remota. Una de las salidas alimenta la tarjeta de relés y la otra salida se encarga de alimentar la tercera tira de LEDs, la de 40 mA, en la fase de degradación.



Figura 4.6: Fuente de Alimentación BK PRECISION 1672. Aspecto físico.

Las características principales de esta fuente de alimentación son:

- ~ Triple salida:
 - Una salida fija de 5 V y 3 A.
 - Dos salidas variables de 0 a 32 V, 0 a 3 A.
 - Las salidas variables pueden trabajar de forma independiente, en serie o en paralelo.
- ~ Controles independientes de tensión y corriente para salidas variables.
- ~ Potencia máxima de salida: 195 W.
- ~ Operación de CV/CC con indicación LED, rojo (CC) y verde (CV).
- ~ Indicación LED de sobrecarga para la salida fija.
- ~ Resolución: 100 mV para tensión y 10 mA para corriente.

- ~ Bajos niveles de rizo y ruido (≤ 1 mV rms; ≤ 1 mA rms).
- ~ Pantallas LCD de 3 dígitos, separadas para tensión (verde) y corriente (rojo) para ambas salidas variables.
- ~ Modos de rastreo en serie y operación en paralelo para la unidad de salida triple.
- ~ Regulación de línea: 0,01% + 3 mV, <0,2% + 3 mA.
- ~ Regulación de carga: 0,2% + 10 mV, <0,2% + 8 mA.

4.2.1.5 MULTÍMETRO KEITHLEY 2700

Uno de los multímetros que se utiliza, concretamente, para realizar las medidas dentro de la cámara climática es el multímetro Keithley 2700. Para ello, va a ser necesaria una tarjeta de adquisición de datos y una comunicación GPIB con el ordenador.

También se ha utilizado para medir la continuidad de las placas y de los conectores fabricados, así como para ajustar la limitación de corriente de la fuente encargada de inyectar 40 mA a la tercera tira de LEDs.



Figura 4.7: Multímetro KEITHLEY 2700. Aspecto físico.

El dispositivo Keithley 2700 funciona como un multímetro de precisión, pero también como un sistema de adquisición de datos (incorpora dos slots para alojar tarjetas) o datalogger con cualquier PC por vía RS232 o GPIB.

Las características principales de este multímetro son:

- Hasta 80 canales diferenciales analógicos configurables individualmente.
- Entradas y Salidas digitales aisladas.
- Precisión de 6 ½ dígitos reales (22 bits) con 13 funciones de medida incluyendo acondicionamiento de señal.
- Entradas por jack en panel frontal. Operación como multímetro para uso rápido facilitando enormemente la calibración del equipo.
- Ruido inferior a 1,5 mV.
- Velocidad de medida hasta 2000 muestras / segundo, hasta 300V, 3A en modo multicanal.
- Software de adquisición sin necesidad de programación.
- Valores máximos de medida: V_{DC} - 1000 V; V_{AC} - 750 V; I_{DC} e I_{AC} - 3 A; R - 100 M Ω ; F – 500 kHz.
- Medida de resistencia a 2 y 4 hilos con compensación de offset.
- Temperatura: Termopares, RTD, Termistores.
- Compensación de unión fría automática para termopares.
- Relación, frecuencia, periodo, continuidad.
- 2 entradas TTL.
- 5 salidas TTL para límites / alarmas.
- Configuración independiente por canal.
- Funciones matemáticas.
- Memoria de 55.000 datos con capacidad de lectura y transmisión.
- Reloj de tiempo real incorporado.

- Lecturas con información de hora y fecha.
- 4 memorias de configuración de medida no volátiles.
- Interfaces de comunicación GPIB (IEEE-488.2) y RS232.
- Software Xlink.
- Drivers para Test Point y Labview.

4.2.1.6 TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS KEITHLEY 7700

Es una tarjeta de expansión para el sistema de adquisición de datos Keithley 2700, que proporciona 20 canales de medida. En nuestro caso, estos canales irán conectados a las placas de los LEDs y a una sonda de temperatura.



Figura 4.8: Keithley 7700

Las características principales de esta tarjeta son:

- 20 canales de medida de propósito general.
- 2 canales de medida de solo corriente.
- Permite medidas a 2 (20 canales) o 4 hilos (10 canales).
- Cada canal (1-20) soporta 300V y 1 A. 60W 125VA.
- Los canales de corriente (21,22) soportan hasta 60 V y 3A. 60W 125VA.
- Tiempo de conmutación menor a 3 ms.
- Relés de cierre electromecánico.

- El cierre de los relés está almacenado en la memoria de la tarjeta.

En la siguiente figura vemos cómo están distribuidos los relés y qué relés tenemos que conmutar para realizar la medida por el canal que necesitemos.

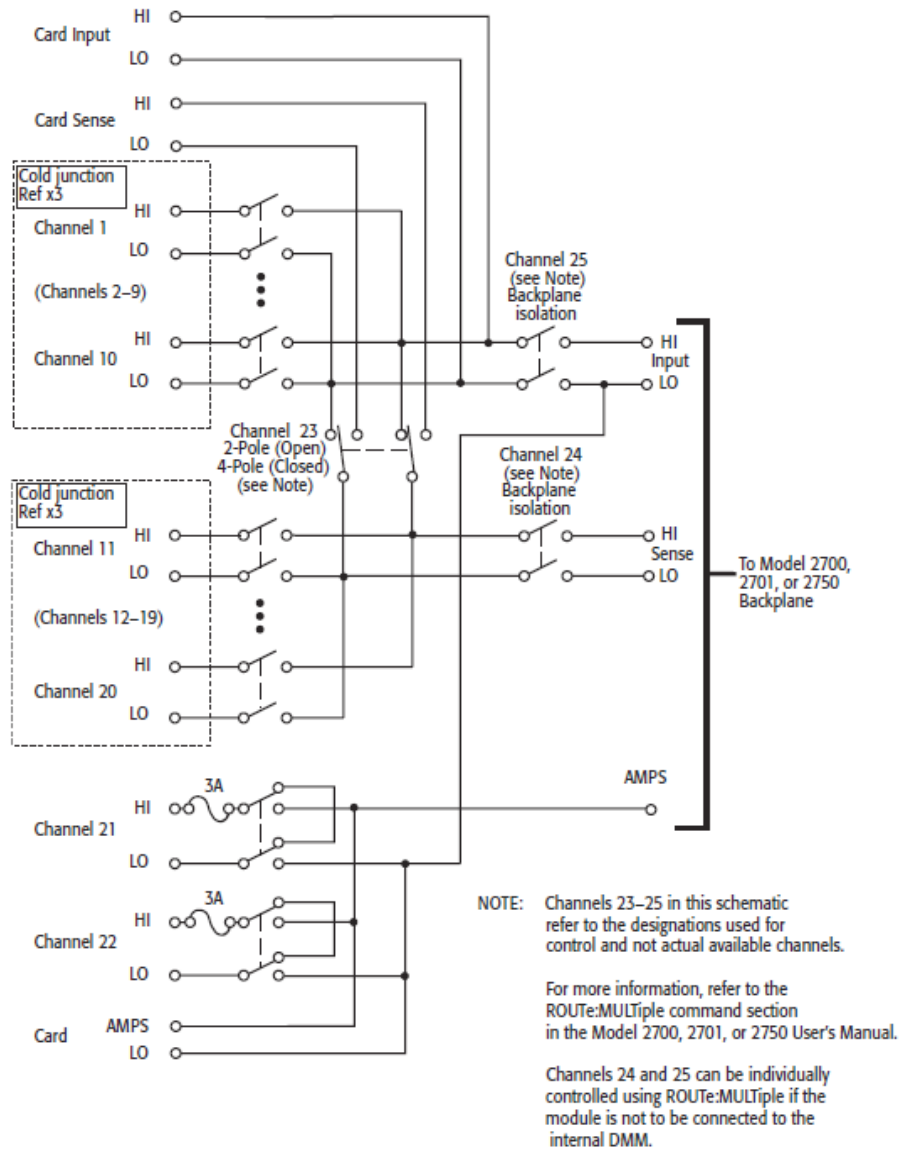


Figura 4.9: Esquema interno Keithley 7700. Datasheet.

4.2.1.7 MULTÍMETRO AGILENT 34410

Es otro de los dispositivos de medida que se utilizan para llevar a cabo este trabajo; en concreto, se trata de un multímetro digital, con el que se toman las medidas externas de las curvas I/V.



Figura 4.10: Multímetro Agilent 34410. Aspecto físico.

Las características principales de este multímetro son:

- Alta precisión, velocidad y rendimiento.
- Representación en el display de múltiples medidas.
- Permite tomar 10.000 lecturas / segundo y enviarlas a un PC.
- Breves periodos de espera.
- Medidas soportadas: DCV, ACV, DCI, ACI, medidas a 2-hilos y 4 hilos de resistencia, temperaturas, capacidades, frecuencias, periodos, continuidad y diodos.
- Compensación de Offset.
- Grandes rangos de medida.
- 50k de memoria de solo lectura.

- Interfaces LAN, USB y GPIB.
- Registro de datos configurable.
- Conmutación mediante un botón de medidas en panel delantero o trasero.

4.2.1.8 MEDIDOR ÓPTICO ANRITSU MS9020B

Este dispositivo de medición óptica es el encargado de medir la potencia luminosa de cada uno de los LEDs que intervienen en este ensayo. Mediante un adaptador casero que permite realizar las medidas.



Figura 4.11: Anritsu MS9020B. Aspecto físico.

Las características principales de este medidor óptico son:

- Mide la pérdida óptica de hasta 67 dB.
- Medidas CW, de potencia luminosa.
- Unidades: W, W (rel), dBm, dB seleccionable (rel); 4 dígitos.

- Proporciona una función de calibración automática (compensación) en ciclos de 5 Nm a 3 longitudes de onda.
- Mide la pérdida de retorno óptico (de 0 a 40 dB).
- Precisión de la longitud de onda: $1,31 \pm 0,03$ micro metros (25 °C).
- Auto Offset.
- Varios Conectores.
- Función media aritmética.
- Se activa el zumbador cuando el nivel de entrada es superior al nivel de referencia ajustado en ciclos de 1 dB.
- Apagado automático tras 5 minutos sin uso.
- Modulación: CW, 270 Hz y 1 kHz.

Las características del Sensor Óptico son:

Model		MA9421A
Wavelength range		0.38 to 1.15 μm
Element		Si diode
Active area diameter		$\varnothing 9.5$ mm
Input		Direct
Measurement range	CW (dBm)	-60 to +20 (0.85 μm)
	MOD (dBm)	-65 to +17 (0.85 μm)
Measurement accuracy*3		$\pm 5\%$
Temperature range		0° to 50°C (use), -40° to +70°C
Dimensions and mass		30 (W) x 30 (H) x 37 (D) mm, ≤ 100 g

Tabla 4.2: Sensor óptico Anritsu MA9421A. Características Datasheet.



Figura 4.12: Sensor óptico Anritsu MA9421A.

4.2.1.9 TARJETA DE RELÉS

Es una tarjeta que consta de 16 relés de la marca OMRON (G5LA) de 12 V. Los relés se controlan individualmente, conmutando a partir de señales con niveles TTL.

Se utiliza para el control de la alimentación entre las fases de degradación y reposo, o para realizar las medidas, aislando cada LED. Todo su uso está orientado a los procesos que tienen lugar en el interior de la cámara climática.

La tarjeta contiene los drivers necesarios para excitar dichos relés.



Figura 4.13: Relés Omron G5LA – 12 V.

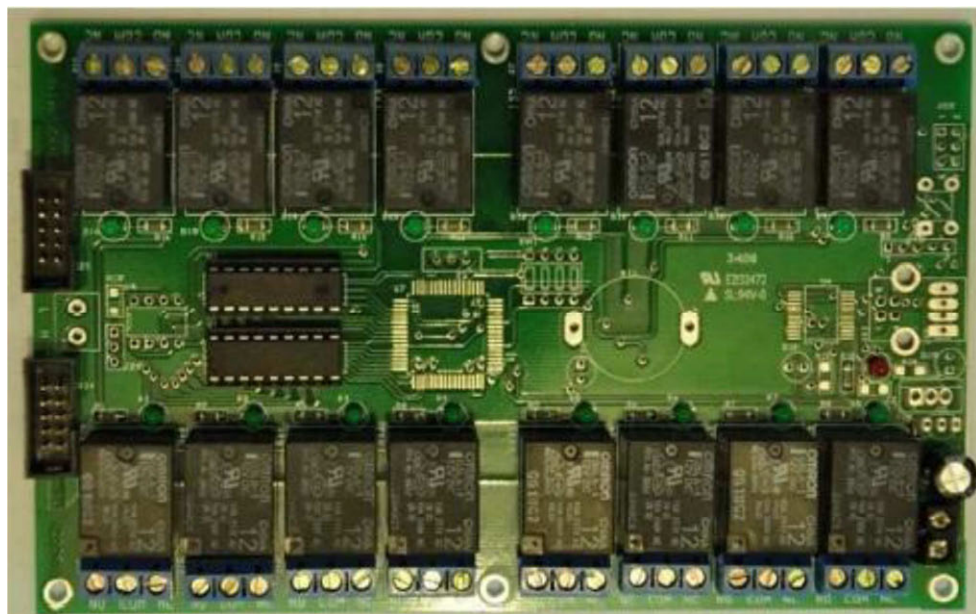


Figura 4.14: Tarjeta de Relés. Aspecto físico.

Las características principales de esta tarjeta son:

- $V_{CC} = 12 \text{ V}$.

- Dimensiones: 160mm x 100mm.
- Los relés soportan 240 V @ 10 A en NO (Normally Open) y 5 A en NC (Normally Close).
- Los 3 contactos del relé (NO, COM and NC) son accesibles en los laterales de la tarjeta. Cada contacto está marcado con sus iniciales para diferenciarlos.
- El LED indicador de la posición de los relés muestra la señal digital que ha recibido el relé para que este actúe en consecuencia; así, si se coge la salida NO y el LED está encendido, la salida estará cerrada.
- Señal de control de entrada digital compatible con lógica TTL (0 / 5 VDC).
- Señal de control de entrada digital mediante 2 conectores de 10 pines.
- Diodo de protección ante polarización inversa de la alimentación.

4.2.1.10 USB-6501 DE NATIONAL INSTRUMENTS

El dispositivo USB-6501 de National Instruments es un dispositivo de E/S digital portátil, que se va a conectar a la tarjeta de relés.

El control se realiza sobre los relés, los cuales funcionan como interruptores dentro del circuito, y permiten tomar las medidas sobre los LEDs de forma individual.



Figura 4.15: NI USB-6501. Aspecto físico. Datasheet.

Las características principales de este dispositivo de E/S son:

- 24 líneas de E/S digitales.
- Contador de 32 bits.
- Nivel Lógico TTL.
- Protección de sobre tensión.
- Capacidad de corriente simple de 8,5 mA.
- Capacidad de corriente total de 65 mA.
- Terminales de tornillo integradas o conector genérico de 34 pines.
- Interfaz de bus USB 2.0 (12Mb/s).
- Alimentado por USB.

4.2.1.11 ESPECTRÓMETRO MIGHTEX SSE-1304-U

Un espectrómetro es un dispositivo capaz de analizar el espectro y medir las propiedades de la luz. En este proyecto se utiliza para medir estas características de cada LED, a lo largo del ensayo.



Figura 4.16: Espectrómetro Mightex SSE-1304-U. Aspecto físico.

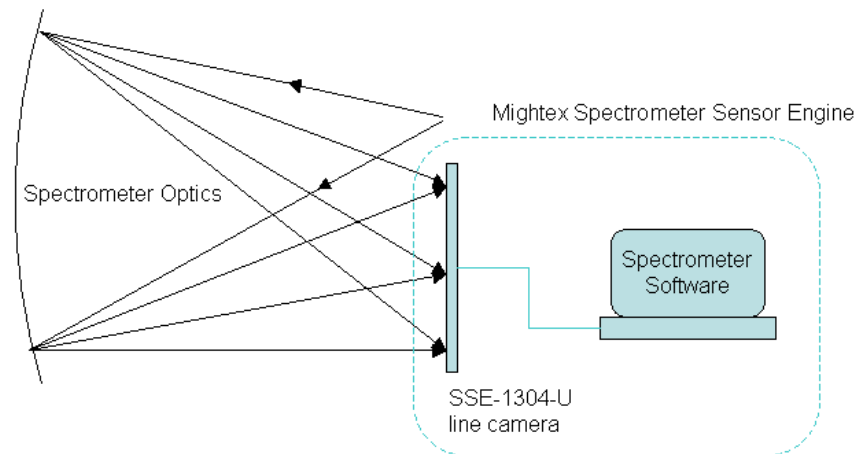


Figura 4.17: Óptica SSE-1304-U.

El espectrómetro permite a los usuarios varias configuraciones, adaptando sus propias ópticas, haciendo que el espectrómetro sea más eficiente y rentable a sus propósitos.

El software del espectrómetro se explica en detalle en su apartado correspondiente, pero hay que decir que proporciona un potente conjunto de funciones ópticas.

Las características principales de este espectrómetro son:

- 3648 píxeles CCD lineales.
- Tamaño del píxel: 8 μm x 200 μm .
- Rango de tiempo de exposición: 100 μs a 6,5 segundos.
- Reloj de salida de 0,5 MHz.
- Resolución de 16 bits.
- 4 pins GPIO programables de E/S.
- Alta velocidad de escaneado, hasta 138 lecturas / segundo.
- Posibilidad de disparo externo.
- Interfaz de comunicación USB.
- Alimentación por USB.

Para realizar mediciones más fiables se va a conectar el extremo de la fibra óptica del espectrómetro a una esfera integradora, que es capaz de reflejar el 95% de la luz que recibe, evitando pérdidas en las medidas y aumentando la

información recibida. Su rango de funcionamiento es para longitudes de onda de 200-2400 nm. Tiene el siguiente aspecto:



Figura 4.18: Esfera Integradora. Aspecto físico.

4.2.1.12 PCs

Al principio de este apartado se mencionó la necesidad de trabajar en dos puestos de trabajo independientes, los cuales están regidos por dos PCs respectivamente.



Figura 4.19: PC puesto común. Medidas externas a la cámara climática.



Figura 4.20: PC puesto individual. Medidas internas a la cámara climática.

4.2.1.13 INTERFAZ DE COMUNICACIONES GPIB

GPIB (General Purpose Interface Bus) es un estándar de conexión que permite la comunicación de un ordenador con equipos electrónicos. En este ensayo permite conectar la fuente de alimentación Agilent 3631A y el multímetro Keithley 2700 con el PC individual, haciendo posible realizar las medidas dentro de la cámara climática.



Figura 4.21: Interfaz USB/GPIB Agilent 82357B.



Figura 4.22: Adaptador IEEE-488 GPIB.

El principal objetivo del interfaz GPIB es gestionar la transferencia de información entre los equipos mencionados. El controlador se asegura de evitar la concurrencia de transmisión; además, supervisará todas las operaciones que se realizan en el bus, determinando el dispositivo que envía la información (mediante el parámetro del protocolo de conexión, asignación

de direcciones), el momento en que se realiza su envío y verificando su correcta transmisión.

4.2.2 HARDWARE

En este apartado se van a incluir todos aquellos elementos físicos que han sido desarrollados y utilizados por el alumno para el ensayo. Por supuesto, son todos aquellos que ha hecho falta construir, haciendo referencia a las placas de los LEDs, el higrómetro, la sonda de temperatura, el cableado y los conectores; así como también el circuito ya existente del módulo Peltier.

4.2.2.1 LEDs HLMP-ED31-SV0DD

Los LEDs son los componentes protagonistas de los ensayos realizados en este PFC. Concretamente se han usado LEDs de alta luminosidad de color rojo, modelo HLMP-ED31-SV0DD.

Son componentes ópticos de precisión, de tecnología AlInGaP II (Fosforo de Aluminio, Indio y Galio), que proporciona una luz extremadamente estable durante largos periodos de tiempo. Ofrecen una alta luminosidad que permite una excelente visibilidad a la luz del día y un rendimiento de alta calidad.

Poseen un encapsulado transparente de tipo T-1¾ que incorpora ópticas de segunda generación que producen patrones de radiación espaciales bien definidos en ángulos de visibilidad específicos.

Están fabricados a base de resina epoxi de alta calidad que ofrece un comportamiento excelente bajo condiciones climatológicas adversas como pueden ser las altas temperaturas o elevados porcentajes de humedad.

El límite máximo de temperatura que soporta la unión es de 130°, permitiéndole operar a altas temperaturas, incluso bajo condiciones de sol extremas. La resina permite una exposición prolongada a los rayos del sol.

Las características principales de este LED son:

- Color rojo: Longitud de onda 630 nm.
- Ángulo de visión de 30°.
- Salida de alta luminosidad.

- Alta temperatura de funcionamiento ($T_{jled}=130^{\circ}$).
- Alta resistencia a la humedad.
- Apropiado para la inserción en placas.
- Rendimiento superior en entornos al aire libre.

Su aspecto es el mostrado en la figura siguiente.



Figura 4.23: Aspecto físico LED HLMP-ED31-SV0DD.

- Encapsulado:

Package Dimensions

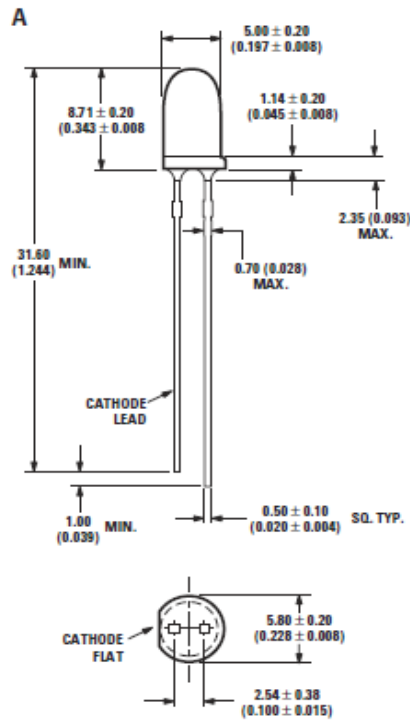


Figura 4.24: Dimensiones. (Datasheet HLMP-Exxx)

- Características Eléctricas:

Electrical/Optical Characteristics at $T_A = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
Forward Voltage Amber ($\lambda_d = 592 \text{ nm}$) Red-Orange ($\lambda_d = 617 \text{ nm}$) Red ($\lambda_d = 630 \text{ nm}$)	V_F		2.15 2.08 2.00	2.4 ^[1]	V	$I_F = 20 \text{ mA}$
Reverse Voltage	V_R	5	20		V	$I_R = 100 \mu\text{A}$
Peak Wavelength Amber Red-Orange Red	λ_{PEAK}		594 623 639		nm	Peak of Wavelength of Spectral Distribution at $I_F = 20 \text{ mA}$
Spectral Halfwidth	$\Delta\lambda_{1/2}$		17		nm	Wavelength Width at Spectral Distribution 1/2 Power Point at $I_F = 20 \text{ mA}$
Speed of Response	τ_s		20		ns	Exponential Time Constant, e^{-1/τ_s}
Capacitance	C		40		pF	$V_F = 0, f = 1 \text{ MHz}$
Thermal Resistance	$R\Theta_{J-PIN}$		240		$^\circ\text{C/W}$	LED Junction-to-Cathode Lead
Luminous Efficacy ^[2] Amber Red-Orange Red	η_v		500 235 155		lm/W	Emitted Luminous Power/Emitted Radiant Power at $I_F = 20 \text{ mA}$

Notes:

- For options -xxRxx, -xxSxx, -xxTxx, -xxUxx, -xxVxx, -xxYxx, max forward voltage (V_F) is 2.6 V. Refer to V_F bin table.
- The radiant intensity, I_e , in watts per steradian, may be found from the equation $I_e = I_v/\eta_v$, where I_v is the luminous intensity in candelas and η_v is the luminous efficacy in lumens/watt.

Tabla 4.3: Características eléctricas/ópticas. (Datasheet HLMP-Exxx).

Absolute Maximum Ratings at $T_A = 25^\circ\text{C}$

DC Forward Current ^[1,2,3]	50 mA
Peak Pulsed Forward Current ^[2,3]	100 mA
Average Forward Current	30 mA
Reverse Voltage ($I_R = 100\ \mu\text{A}$)	5 V
LED Junction Temperature	130°C
Operating Temperature	-40°C to +100°C
Storage Temperature	-40°C to +120°C
Wave Solder Temperature	250°C for 3 seconds
	[1.50 mm (0.060 in.) below body]

Figura 4.25: Valores máximos absolutos. (Datasheet. HLMP-Exxx)

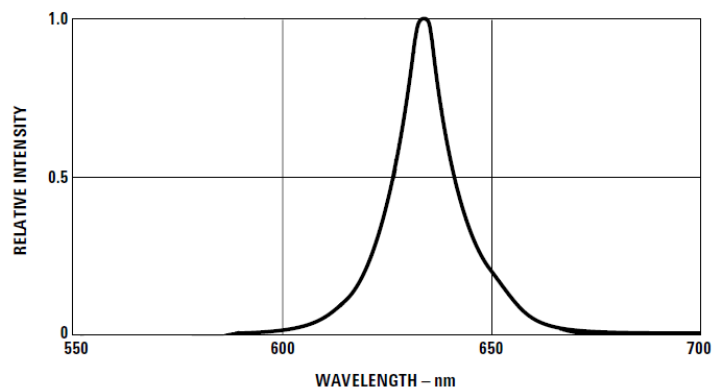


Figura 4.26: Espectro. (Datasheet. HLMP-EDxx)

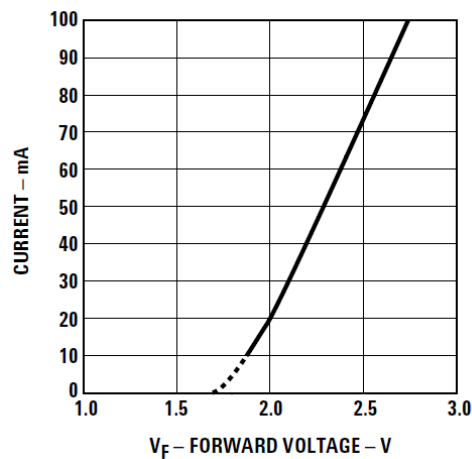


Figura 4.27: Corriente/Tensión. (Datasheet. HLMP-EDxx)

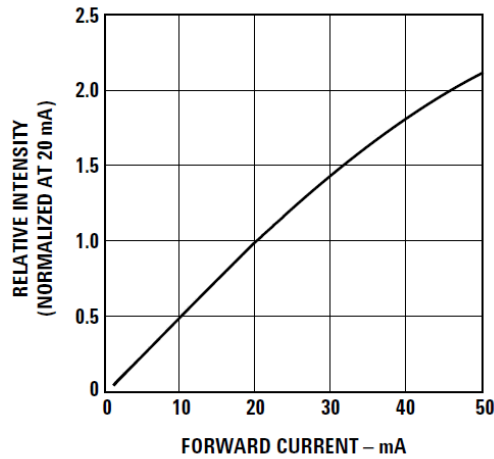


Figura 4.28: Luminosidad relativa/Corriente. (Datasheet. HLMP-EDxx)

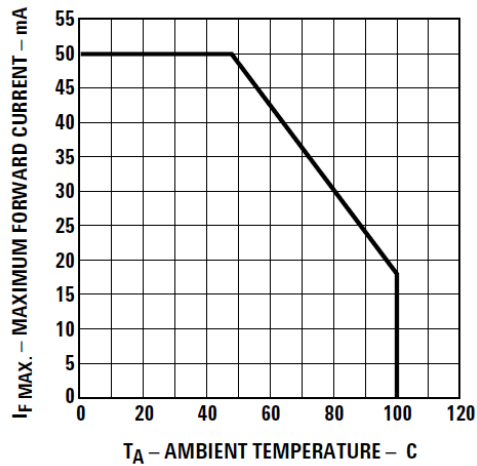


Figura 4.29: Corriente máxima permitida/Temperatura. (Datasheet. HLMP-Exxx)

4.2.2.2 TARJETAS DE LEDS, CABLEADO Y CONECTORES

Son tarjetas de construcción manual, para las que se han utilizado dos placas de circuito impreso de alta temperatura positivas a una cara; se han cortado de forma rectangular, con dimensiones aproximadas de 245 x 55 mm.

Se realizó un atacado masivo de todo el cobre, ya que no se necesitan pistas, y se evita el problema de que se produzcan cortocircuitos indeseados. Posteriormente, las tarjetas fueron taladradas para albergar tiras de LEDs y para la colocación de separadores. La primera tarjeta consta de una tira de 3 LEDs y otra de 10 LEDs; la segunda tarjeta contiene dos tiras de 10 LEDs cada una.



Figura 4.30: Tarjetas de LEDs. Aspecto físico.

Los LEDs van conectados en serie, se suelda el cátodo de un LED al ánodo del siguiente; así hasta completar toda la fila. Hay que soldar también los cables de alimentación a los extremos de cada tira y el cableado necesario para conectar los LEDs al equipo de medida, en concreto, a la tarjeta de adquisición de datos.

La soldadura de las tarjetas tiene el siguiente aspecto:



Figura 4.31: Vista de Soldadura.

El cableado de alimentación y de datos ha de tener aproximadamente la misma longitud, un metro y medio, desde las tarjetas hasta los conectores; esta longitud se ha calculado para la distancia necesaria entre el interior de la cámara y los equipos.



Figura 4.32: Tarjetas de LEDs, cableado y conectores. Aspecto físico.

Se fabrican cuatro conectores de forma manual para el cableado de medida, dos por cada tarjeta de LEDs (macho y hembra). Estos conectores están formados por dos trozos pequeños de placa Uniprint, de dimensiones 22x38 mm, en los que se sueldan conectores de 10 pines y a los que van soldados los cables de medida de las tarjetas de LEDs (macho) y los de la tarjeta de adquisición (hembra). Estos conectores permiten la conexión y desconexión de las tarjetas con el equipo y así facilitan el desplazamiento a otro puesto de trabajo donde se realizan las medidas externas.

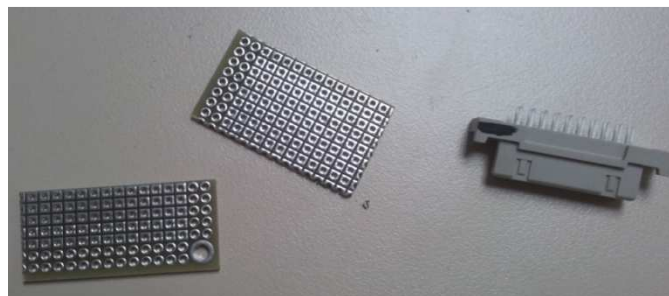


Figura 4.33: Placa uniprint y conector de 10 pines.



Figura 4.34: Conexión del cableado de medida.

El extremo del cableado que se conecta a la tarjeta de adquisición de datos presenta el siguiente aspecto:

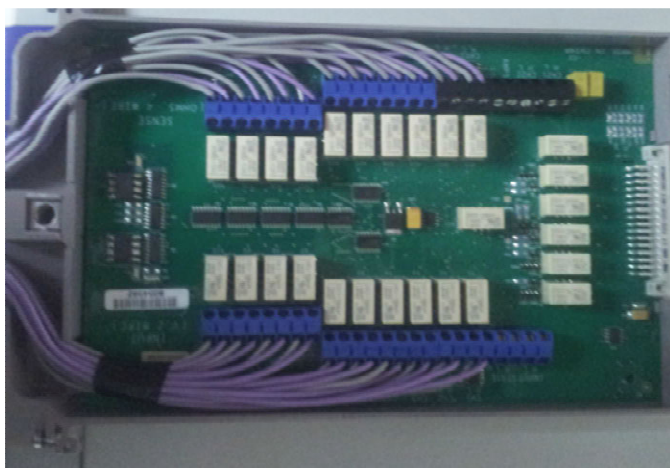


Figura 4.35: Conexión de la Tarjeta del multímetro.

Por el contrario, para el cableado de alimentación se han utilizado dos conectores de 6 pines, macho y hembra respectivamente, y tienen la misma funcionalidad de los conectores del cableado de medida, conectar y desconectar las tarjetas del equipo para poder desplazarlas a otro puesto de trabajo. Solamente se necesitan conectores de 6 pines, 3 pares de alimentación, uno para cada tira de LED; en la tira de 0 mA, como es obvio, no se inyecta corriente y, por tanto, no necesita alimentación.



Figura 4.36: Conector de 6 pines para alimentación.

4.2.2.3 SENSOR DE TEMPERATURA PT-100

El sensor de temperatura utilizado es un sensor bastante común denominado Pt-100. Es un RTD (Detector de Temperatura Resistivo) que recibe el nombre Pt por estar hecho de Platino. A 0° C su resistencia es de 100 Ω , la cual aumentará de forma creciente al incrementarse la temperatura.

Es un sensor que cuenta con un nivel alto de precisión y puede situarse a cierta distancia del equipo de medida sin ningún problema.

En la siguiente figura se puede observar la relación temperatura-resistencia que presenta este sensor de 0° a 100° C.

Pt 100 ohms	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41	
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29	
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16	
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86	
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51	
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32	
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12	
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91	

Tabla 4.4: Tabla de relación temperatura-resistencia Pt-100.

El sensor Pt-100 se introduce por un lateral de la cámara.



Figura 4.37: Pt-100 en el interior de la cámara.

4.2.2.4 SENSOR DE HUMEDAD HONEYWELL HIH-4000-003

El sensor de humedad es un higrómetro de la marca Honeywell HIH-4000-003. El circuito del higrómetro consiste en soldar un cable de aproximadamente metro y medio de longitud a cada una de las patillas del sensor.

Los cables que se utilizan van a introducirse en la cámara climática, por lo que son resistentes a altas temperaturas. Para asegurar la soldadura, se ha cubierto la unión con cable termorretráctil.



Figura 4.38: Higrómetro. Aspecto físico.

Es un sensor de tamaño muy reducido que posibilita caracterizar equipos con medidor de humedad como, en este caso, la cámara climática.

Posee un circuito integrado que ofrece una tensión de salida lineal en función de la humedad relativa (% HR) a la que se encuentre.

Al estar formado por un circuito integrado, no admite exposición continuada a altas temperaturas ($> 80^{\circ}$).

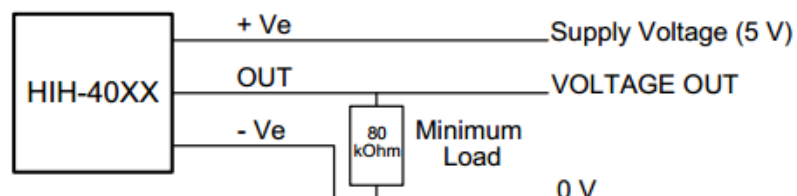


Figura 4.39: Esquema de uso del higrómetro.

Las características de funcionamiento del higrómetro son:

V_{OUT} @ 0 % RH: 0,827754 V

V_{OUT} @ 75,3 % RH: 3,157905 V

Accuracy @ 25° C 3,5 % RH

Zero Offset: 0,827754 V

Slope: 30,944910 mV / % RHH

$$\text{Sensor RH: } \frac{(V_{OUT} - 0,828)}{0,031}$$

$$V_{OUT} = V_{SUPPLY} (0,166 \text{ To } 0,784)$$

Con estos datos de referencia, se puede obtener el porcentaje de humedad relativa, midiendo la tensión de salida V_{OUT} y aplicando la fórmula. El higrómetro se utilizó para comprobar el buen funcionamiento de la cámara climática previamente al comienzo de los ensayos.

4.2.2.5 CABLES

Los cables que se usan para conectar las tarjetas, la sonda de temperatura y el sensor de humedad, son de silicona y aguantan altas temperaturas; concretamente el cable utilizado resiste hasta 150° C, temperatura más que suficiente para los 85° C que tiene que soportar dentro de la cámara climática.

Se usarán cables de dos colores diferentes para diferenciar la polaridad: el gris corresponderá al negativo o masa, y el morado claro, al positivo.



Figura 4.40: Cables utilizados.

4.2.2.6 CÉLULA PELTIER

La medida de la curva I/V de los LEDs es muy sensible a la temperatura ambiente. Para conseguir que la medida de la curva I/V del LED se realice siempre a la misma temperatura, se utiliza una célula Peltier. Para ello utilizaremos un circuito ya fabricado, un módulo Peltier.

El módulo Peltier está formado por una célula Peltier, la cual, por un lado, tiene adherido un cemento con una hendidura en el medio para introducir el cuerpo del LED; por el otro lado, está unida a un disipador metálico. Las células Peltier son dispositivos termoeléctricos formados por dos caras; en una de ellas generan frío y en la otra calor. Esta diferencia de temperatura entre sus caras, genera una diferencia de potencial.

Los terminales de la célula se sueldan a unos cables que en su otro extremo poseen bananas para facilitar su conexión, y todo el módulo en conjunto, permite medir y controlar la temperatura mediante un programa diseñado en LabVIEW.



Figura 4.41: Módulo Peltier. Aspecto físico.

4.2.2.7 OTRO CABLEADO

Para realizar las medidas de potencia y de espectro, es necesario alimentar las tiras de LEDs individualmente, para lo cual hemos diseñado el siguiente conector:

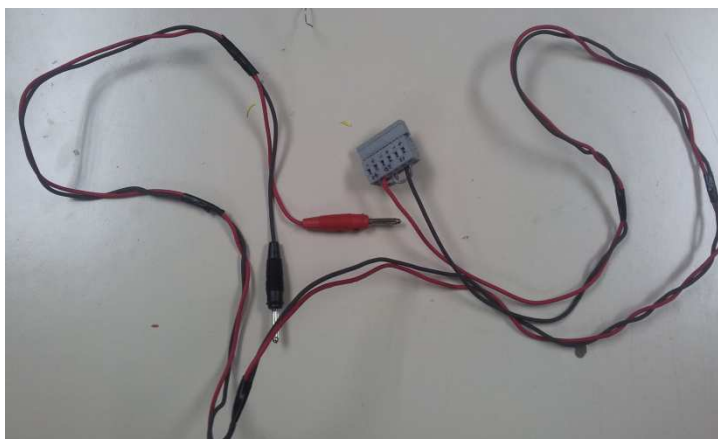


Figura 4.42: Conector. Aspecto físico.

En un extremo posee dos bananas, las cuales se conectan a la fuente de alimentación, y en el otro extremo, el conector hembra de 6 pines, se conecta al conector macho del cableado de alimentación de las tarjetas de LEDs.

Para seleccionar la fila de LEDs que se quiere medir, hay que ir cambiando el cable positivo en el conector; tiene 3 posiciones posibles, una para cada tira.

4.2.3 SOFTWARE

En este apartado se van a explicar los programas software que se han utilizado en el desarrollo del ensayo. Se da una breve descripción de la misión que cumplen y de sus características.

4.2.3.1 SOFTWARE MIGHTEX

Es el software que sirve de interfaz y permite realizar las medidas con el espectrómetro.



Figura 4.43: Software del espectrómetro.

Es un software sencillo, que no necesita de instalación, es decir, es autoejecutable; aunque sí es necesario instalar el driver del espectrómetro. Solo arrancará el programa si el espectrómetro está conectado (vía USB) al PC; en caso contrario el programa no funciona.

Posee una interfaz de trabajo sencilla de manejar.

La ventana principal del programa se puede dividir en 5 partes:

- 1- Menú principal.
- 2- Barra de herramientas.
- 3- Área de trabajo.
- 4- Área de control.
- 5- Barra de estado.

En la siguiente figura se muestra la ventana principal con cada una de sus partes delimitadas e identificadas con su número correspondiente:

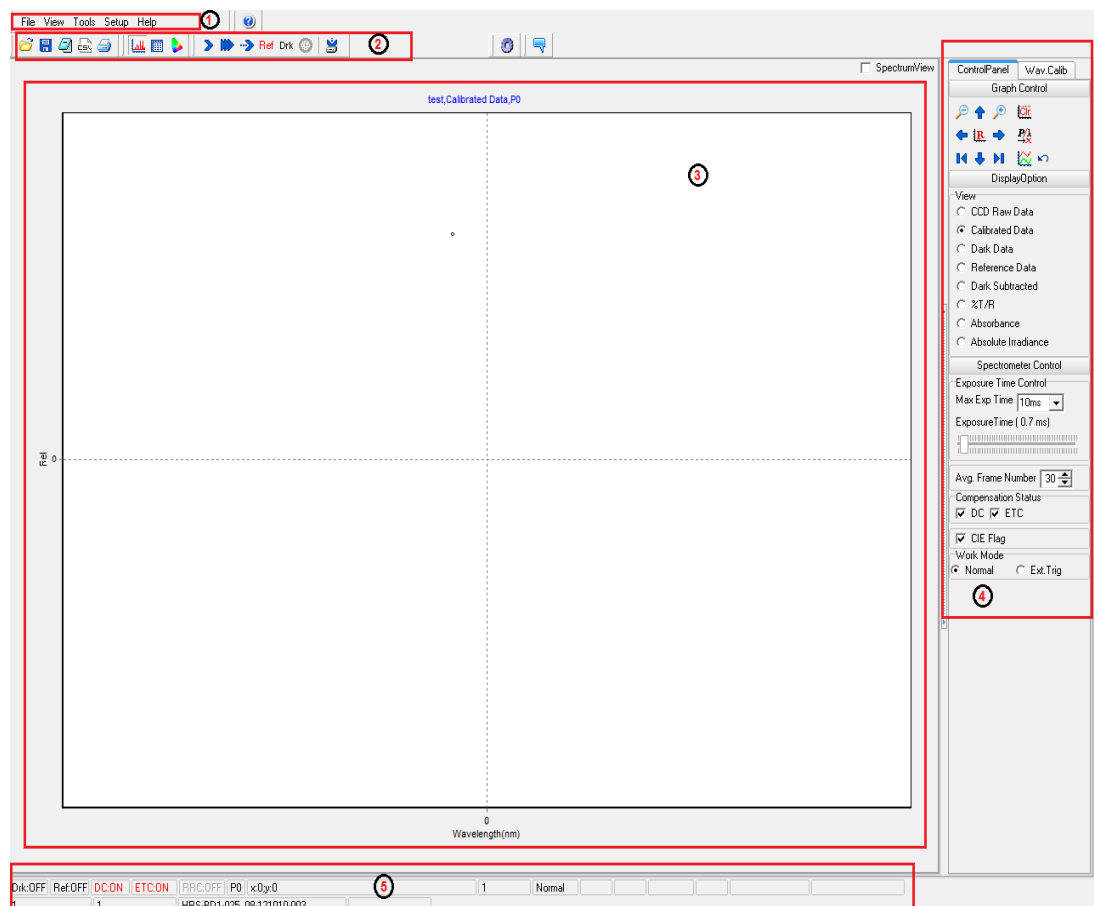


Figura 4.44: Interfaz principal de usuario.

MENU PRINCIPAL:

Está formado por 5 elementos:

1. File: Permite gestionar las opciones básicas de un archivo; abrir, guardar, exportar, imprimir.
2. View: Opciones de visualización; mostrar cursor, gestionar botones de la barra de herramientas, coeficientes de calibración de longitud de onda.
3. Tools: Herramientas de calibración; exposición de tiempo, irradiancia absoluta.
4. Setup: Configuración; parámetros de configuración, configuración de la ventana del programa, referencias de espectro, modo de píxel, parámetros CIE.
5. Help: Elemento de ayuda; ayuda online, página web del fabricante e información sobre el programa.

BARRA DE HERRAMIENTAS:

La barra de herramientas consta de 18 botones. En la siguiente figura se puede observar su aspecto; además, están numerados para explicar su funcionalidad.



Figura 4.45: Barra de herramientas.

Los 5 primeros botones sirven para gestionar los ficheros.

- 1- Abrir.
- 2- Guardar en fichero .mtd.
- 3- Exportar datos a fichero .TXT.
- 4- Exportar datos a fichero .CSV.
- 5- Imprimir.

Los 3 siguientes sirven para elegir el modo de representación del espectro obtenido.

- 6- Ventana de gráfico. Se muestra el espectro en una gráfica.

- 7- Ventana de tabla. Se muestra el espectro como datos en forma de tabla
- 8- Ventana cromática. Se muestra el espectro en función de los parámetros CIE.

Los 7 botones siguientes son referentes a la captura del espectro.

- 9- Medida de un espectro.
- 10- Medida de tres espectros superpuestos.
- 11- Medida continua del espectro.
- 12- Medida de referencia.
- 13- Medida de referencia de oscuridad.
- 14- Medida del espectro para modo de píxel P4 a P7.
- 15- Medida de información de la línea del tiempo.

Los botones 9 a 13 solo funcionan en los modos de píxel P0 a P3.

Los botones 12 y 13 miden el espectro y lo guardan como Referencia u Oscuridad respectivamente.

El botón 14 solo funciona para los modos de píxel P4 a P7.

Los 3 últimos botones:

- 16- Abre el menú de ayuda.
- 17- Abre la configuración de la ventana de gráfico.
- 18- Permite escribir comentarios.

ÁREA DE TRABAJO:

El área de trabajo admite tres modos diferentes:

- Gráfico: Permite la representación del espectro, mostrando la información del espectro de acuerdo con la configuración establecida.

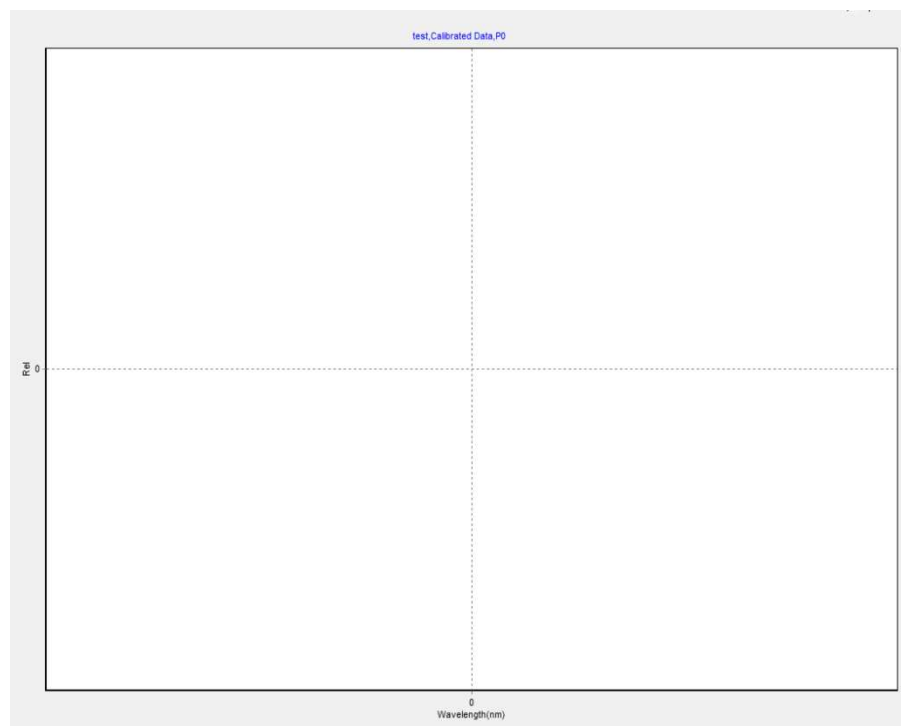


Figura 4.46: Modo Gráfico.

- Tabla: La información del espectro se muestra en forma de tabla.

Pixel	Wavelength	Raw Data_1	Raw Data_2	Raw Data_3	Dark Subtracted_1	Dark SubStrac
0	830.003	11205	0	0	0	0
1	829.881	11152	0	0	0	0
2	829.759	11282	0	0	0	0
3	829.638	11226	0	0	0	0
4	829.516	10993	0	0	0	0
5	829.394	11015	0	0	0	0
6	829.273	11095	0	0	0	0
7	829.151	11112	0	0	0	0
8	829.03	11026	0	0	0	0
9	828.908	11121	0	0	0	0
10	828.786	11019	0	0	0	0
11	828.665	11216	0	0	0	0
12	828.543	10930	0	0	0	0
13	828.422	11016	0	0	0	0
14	828.3	10989	0	0	0	0
15	828.178	11077	0	0	0	0
16	828.057	10989	0	0	0	0
17	827.935	11085	0	0	0	0
18	827.814	10887	0	0	0	0
19	827.692	11051	0	0	0	0
20	827.571	11073	0	0	0	0
21	827.449	11057	0	0	0	0
22	827.328	10954	0	0	0	0
23	827.206	10895	0	0	0	0
24	827.085	11143	0	0	0	0

Figura 4.47 Modo Tabla.

- Cromático: Realiza un análisis del color del espectro analizado según las normativas cromáticas 1931 UCS y 1976 UCS.

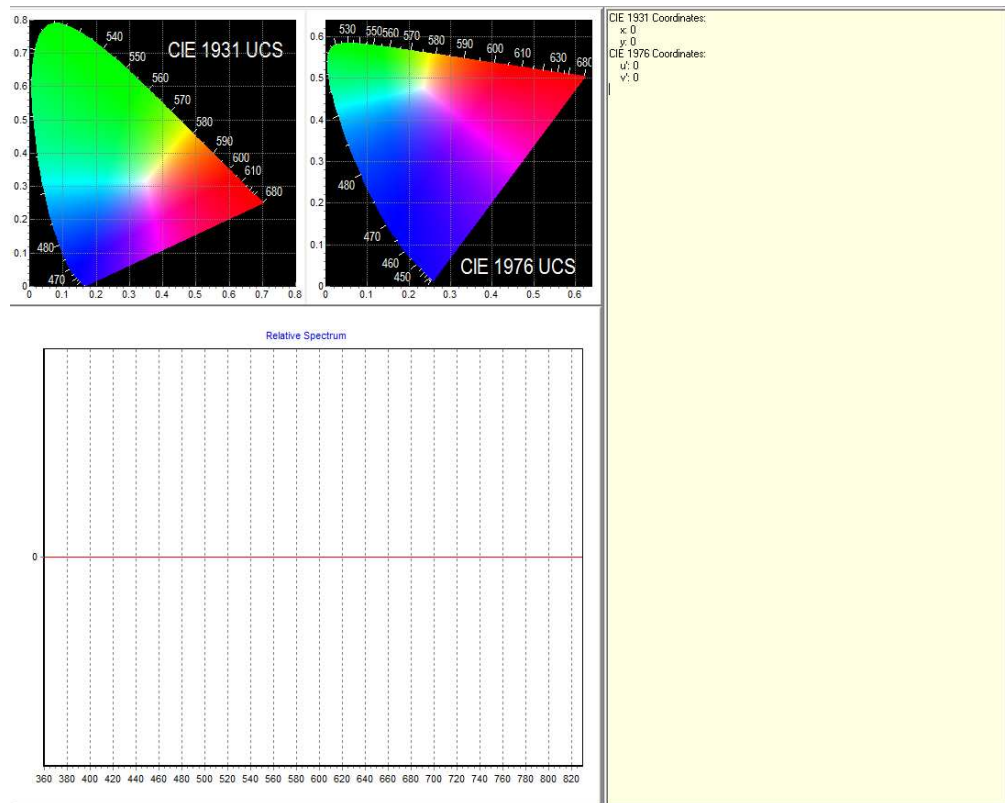


Figura 4.48: Modo Cromático.

ÁREA DE CONTROL:

Se divide en tres grupos de control:

- Control de Gráfico: Permite aumentar o disminuir el zoom, desplazarse en cualquier dirección, reducir el gráfico a la izquierda, expandirlo, resetear la configuración por defecto, borrar el gráfico, cambiar la unidad del eje X entre píxel y longitud de onda, suavizar los picos y deshacer el suavizado.
- Opciones de visualización de espectro: Controla el tipo de datos que se muestran en el gráfico.

CCD Raw Data: Muestra el espectro en bruto medido directamente.

Calibrated Data: Muestra el espectro después del tiempo de exposición lineal de calibración (ETC) si está activado; si no, es lo mismo que CCD Raw Data.

Dark: Muestra el espectro oscuro, medido o cargado. Si no existe, la referencia de los datos para este parámetro será 0.

Ref: Muestra la referencia del espectro, medida o cargada.

Dark Subtracted: Muestra el espectro actual eliminando los datos del espectro oscuro.

%T/R: Muestra la relación del espectro oscuro que ha sido eliminada del espectro actual.

Absorbance: Muestra la densidad óptica del espectro, o absorbancia.

Absolute Irradiance: Muestra el espectro de la prueba de luz en unidades absolutas de irradiancia.

- Opciones del espectrómetro: Contiene la configuración de los parámetros del espectrómetro.

Exposure Time: Es el tiempo de integración por cada captura. El tiempo mínimo de exposición es de 100 μ s; coincide con el valor de tiempo incremental, por lo que el valor de este parámetro siempre será múltiplo de 100 μ s.

Avg. Frame Number: Establece el número de fotogramas por cada medida.

Compensation Status: Establece el estado de espectro oscuro y de tiempo de exposición lineal de calibrado del fotograma grabado.

CIE Flag: Activar o desactivar el cálculo de los parámetros cromáticos CIE.

Work Mode: Permite seleccionar entre el funcionamiento normal del espectrómetro (mediante el software) o el modo de disparo externo.

El área de control tiene el siguiente aspecto:

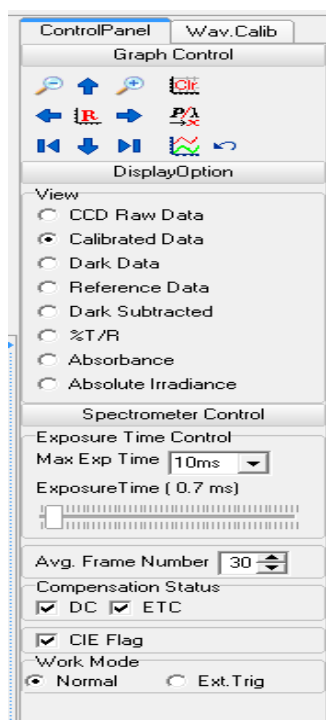


Figura 4.49: Área de control.

BARRA DE ESTADO:

La barra de estado situada en la parte inferior muestra un resumen de la configuración actual que tiene programa. Indica el estado, el modo, información de los cursores, tiempo de exposición,...

4.2.3.2 EXCEL

El programa Excel pertenece al paquete Office de Microsoft. Es una herramienta de cálculo y administración de datos. Se utiliza para operar con los resultados obtenidos y poder representarlos mediante gráficas cómodamente.



Figura 4.50: Excel 2010.

4.2.3.3 ORIGIN

Este software facilita sobremanera la importación de los resultados obtenidos en fichero de texto (.txt) por parte del software del espectrómetro, a datos en formato Excel, (.xls). Permite seleccionar varios archivos de texto simultáneamente y elegir qué columnas y filas se importan de cada uno de ellos.



Figura 4.51: ORIGIN 8.

A lo largo del ensayo se han realizado numerosas medidas con el espectrómetro, es decir, muchos archivos en formato de texto, los cuales poseen la información obtenida del espectrómetro de forma consecutiva, lo cual dificulta el análisis; gracias a este software, de una manera casi instantánea, se obtiene el rango de datos deseado en el formato Excel con el que se puede gestionar de una manera mucho más efectiva y visual.

4.2.3.4 LABVIEW

El programa LabVIEW, de National Instruments, es una herramienta software muy potente. Permite configurar y manejar los equipos a través de las diferentes interfaces que permite manejar, en este caso, GPIB y USB.

Se ha utilizado la versión, LabVIEW 2012.



Figura 4.52: LabVIEW 2012.

Es una herramienta diseñada especialmente para monitorizar, controlar, automatizar y realizar cálculos complejos de señales analógicas y digitales capturadas.

Es un lenguaje de programación de propósito general, totalmente gráfico, que facilita el entendimiento y el manejo para el diseñador y/o programador. A lo largo del proyecto se han utilizado dos programas:

PROGRAMA LABVIEW 1:

El software que ha sido utilizado para realizar las medidas internas es un programa en LabVIEW, heredado de un proyecto anterior de unos compañeros, por lo que no es necesario dar detalles exhaustivos del software, aunque sí explicar el funcionamiento y toda la configuración necesaria para la realización del proyecto.

El programa está estructurado en gestores, orientados a la modularidad del sistema, un gestor por equipo, y a la flexibilidad de su aplicación.

Está dividido en 7 gestores:

- GesUsuario
- GesTest
- GesColas
- GesMensajes
- GesSupply
- GesSwitch
- GesUSB

Alguno de estos gestores ha sido modificado ligeramente para adaptar el programa a nuestras necesidades. GesUsuario es el gestor principal, debido a que contiene la interfaz necesaria para programar toda la configuración y poner en marcha el programa.

El software se basa en la ejecución en paralelo de dichos gestores.

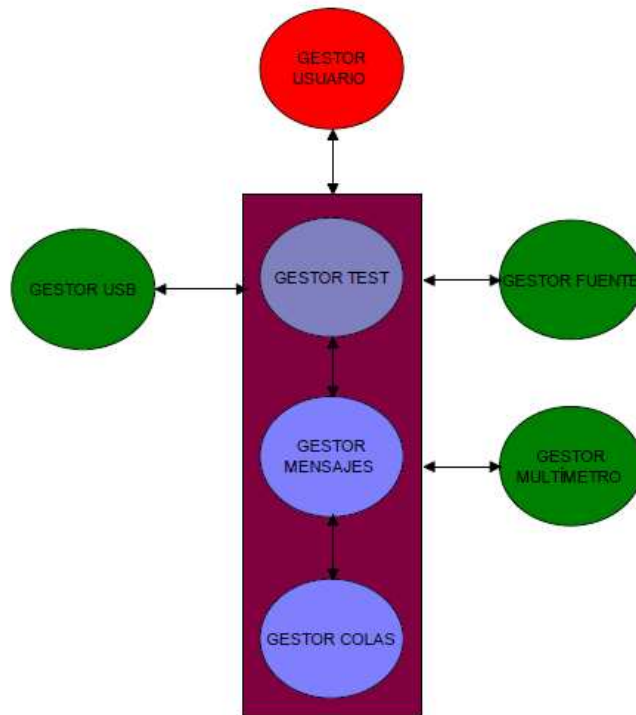


Figura 4.53: Comunicación entre los gestores.

El programa responde a las siguientes funciones:

- ~ Controlar una fuente de alimentación (Agilent 3631).
- ~ Adquirir datos por un multímetro (Keithley 2700).
- ~ Guardar los datos en un fichero de texto (.txt) y en un fichero excel (.xls).
- ~ Controlar unos relés a través de una tarjeta USB de NI.
- ~ Programar el tiempo de degradación.
- ~ Programar el tiempo de reposo.
- ~ Seleccionar el tipo de medida deseado por cada canal.

Además, se han añadido las siguientes:

- ~ Adaptar la medida de tipo tensión para realizar curvas I/V.
- ~ Programar los valores de intensidad de las curvas I/V.
- ~ Establecer un número de ronda de medida final.

El programa se guía por el siguiente diagrama de estados:

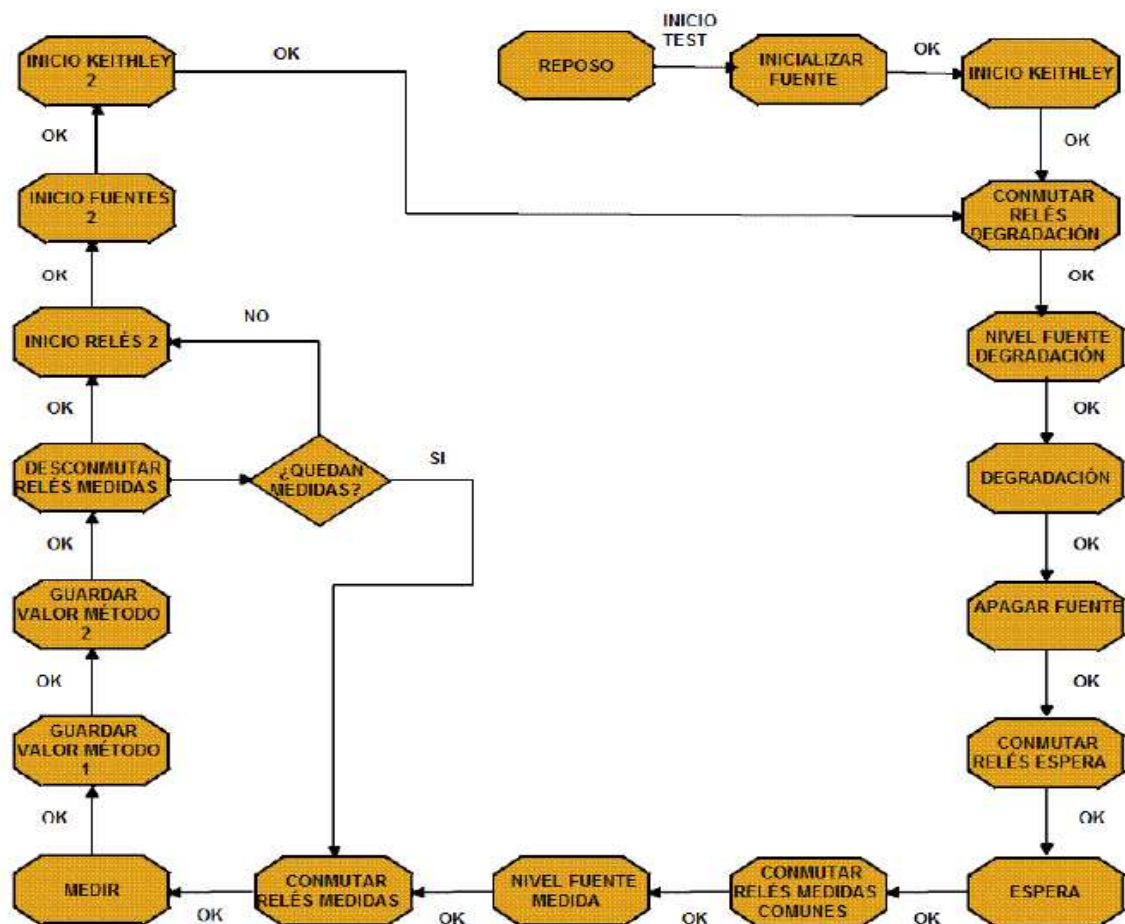


Figura 4.54: Diagrama de estados.

GESTOR USUARIO

El programa se controla desde el gestor de usuario, GesUsuario, que hace de interfaz y en el que se encuentran los parámetros configurables del programa. Está dividido en 6 pestañas: Control, Relay, Time, State, channels y I/V Curve.

CONTROL:

La pestaña llamada Control es la pestaña principal, permite configurar los valores de la fuente de alimentación para los diferentes estados del programa, programar las rondas de medida, cargar una configuración previamente guardada, guardar la existente, fijar la ruta de destino de los resultados y empezar, pausar o parar el test.

Tiene el siguiente aspecto:

CONTROL RELAY TIME STATE CHANNELS I-V CURVE

Control and commutation system for accelerated test

POWER SUPPLY LEVEL V [V] AND I [A] FOR THE STATE OF DEGRADATION

V_stress +6 V_stress +25 V_stress -25
 I_stress +6 I_stress +25 I_stress -25

NUMBER OF FIRST ROUND MEASURE

Number of round measure
 Apagar tras el nº de ronda de medida
 Test name

POWER SUPPLY LEVEL V [V] AND I [A] FOR THE STATE OF MEASURE

V_measure +6 V_measure +25 V_measure -25
 I_measure +6 I_measure +25 I_measure -25

LOAD CONFIGURATION Path of file to load File name to load
SAVE CONFIGURATION Path of file to save File name to save

PATH FOR SAVE THE MEASURES

Path for save the measures in format .txt Folder name for save the measures in format .txt
 Path for save the measures in format .xls Folder name for save the measures in format .xls

Start test Pause test
 STOP

Figura 4.55: Pestaña de Control.

RELAY:

Esta pestaña posibilita que se configuren los relés que quiere conmutar de ON a OFF o viceversa, para los estados de degradación o de reposo.

Se indicarán con números enteros del 1 al 16, número total de relés que posee la tarjeta, separados por comas.

La pestaña de relés tiene el siguiente aspecto:

CONTROL	RELAY	TIME	STATE	CHANNELS	I-V CURVE
<p>Information over PCB_relays: Initial state without 12V power. Then: Relays state to Relays_OFF = RelayCOM shortcircuit RelayNC With 12V power and with or without Labview running, but whitout (Star Test). Then: Relays_ON = RelayCOM shortcircuit RelayNO After pressing the button (Star Test). Then: Relays_OFF = RelayCOM shortcircuit RelayNC. Order of relays is the numeric order 1..16</p> <p>Definition of PCB_relays states for this application: State Relay ON = USB_TTLhigh = LED_PCBonLight = RelayCOM shortcircuit RelayNO. The order of relays ON, is the order of write in box. State Relay OFF = USB_TTLlow = LED_PCBoff = RelayCOM shortcircuit RelayNC. The order of relays ON, is the order of write in box.</p> <p>For safe of hardware software malfunction, put critical and unpower elements to I/O Relay NC. Together identify the correct order of Relay ON and the subsequent order of realys OFF</p>					
<p>SEQUENCE COMMUTATION OF RELAYS FOR THE STATE OF DEGRADATION ON --> RelayCOM shortcircuit RelayNO OFF --> RelayCOM shortcircuit RelayNC</p>			<p>SEQUENCE COMMUTATION OF RELAYS FOR THE WAITING STATE ON --> RelayCOM shortcircuit RelayNO OFF --> RelayCOM shortcircuit RelayNC</p>		
<p>Relays in the state of degradation ON</p> <input type="text"/> <p>SEPARATE EACH CHANNEL WITH COMMA (,).</p>			<p>Relays in the waiting state ON</p> <input type="text"/> <p>SEPARATE EACH CHANNEL WITH COMMA (,).</p>		
<p>Relays in the state of degradation OFF</p> <input type="text"/> <p>SEPARATE EACH CHANNEL WITH COMMA (,).</p>			<p>Relays in the waiting state OFF</p> <input type="text"/> <p>SEPARATE EACH CHANNEL WITH COMMA (,).</p>		

Figura 4.56: Pestaña de Relés.

TIME:

La siguiente pestaña es la que se encarga de programar la temporización. Permite establecer el tiempo de degradación para la primera vez (primer ciclo de degradación), el tiempo de degradación del resto de rondas y el tiempo de reposo entre el estado de degradación y la realización de las medidas.

CONTROL	RELAY	TIME	STATE	CHANNELS	I-V CURVE
<div> <div> <p>TIME OF DEGRADATION</p> <p>Hours (initials of simulation)</p> <input type="text"/> <p>Minutes (initials of simulation)</p> <input type="text"/> </div> <div> <p>WAITING TIME UNTIL TAKE THE MEASURES</p> <p>Hours (wait until measure)</p> <input type="text"/> <p>Minutes (wait until measure)</p> <input type="text"/> </div> </div> <div> <p>TIME OF DEGRADATION FOR THE FIRST TIME</p> <p>Simulation hours for the first time</p> <input type="text"/> <p>Simulation minutes for the first time</p> <input type="text"/> </div>					

Figura 4.57: Pestaña de Temporización.

STATE:

La pestaña State, muestra un seguimiento completo del estado del programa. Permite observar el estado actual en el que se encuentra el programa, ver si ha ocurrido algún error o si en algún momento no ha funcionado correctamente.

También da información sobre: la fecha y hora de inicio del Test, la hora actual, el tiempo de degradación restante de la ronda vigente, el tiempo de espera que resta hasta la realización de las medidas, y el número de ronda de la medida actual.

El aspecto de esta pestaña es el siguiente:

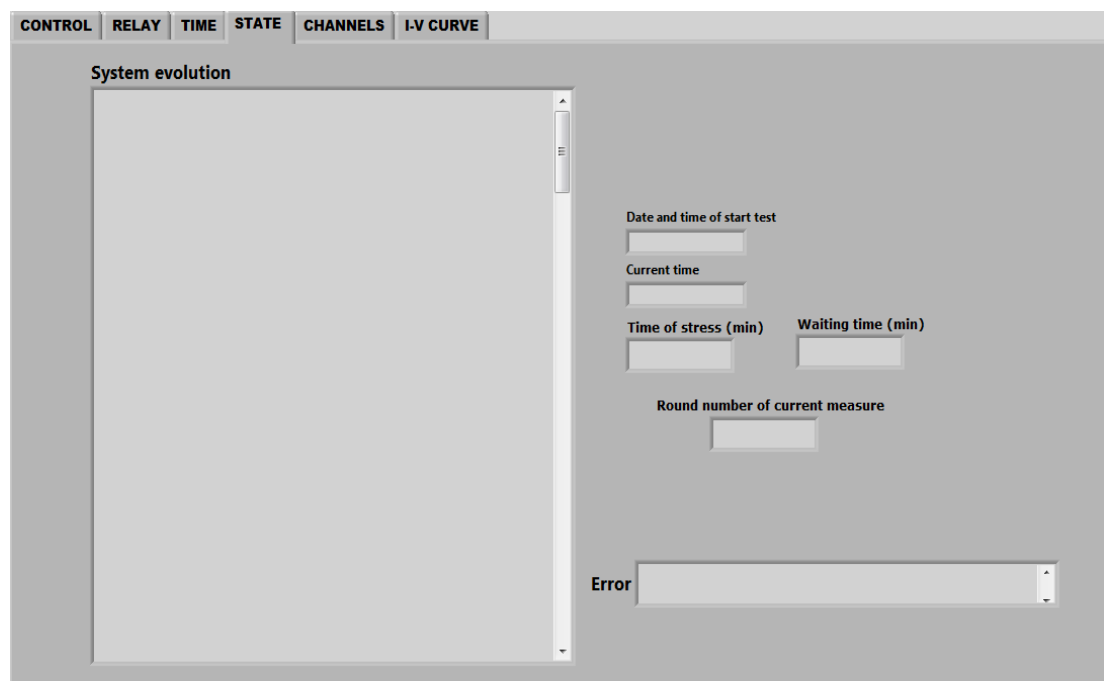


Figura 4.58: Pestaña de Estado.

CHANNELS:

En esta pestaña el usuario puede elegir entre los canales que proporciona la tarjeta de adquisición de datos (en este caso la tarjeta 7700, que dispone de 22 canales), los Relés para activar o desactivar por cada canal (indicando el número del relé, separado por comas); así como el tipo de medida, pudiendo elegir entre: medida de tensión DC (modificada para realizar medida de curva I-V), medida de corriente DC, resistencia a 4 hilos, continuidad y temperatura.

También permite elegir los relés comunes para poner a ON u OFF de la lista de canales que se van a medir (indicando el número del relé, separado por comas).

Tiene el siguiente aspecto:

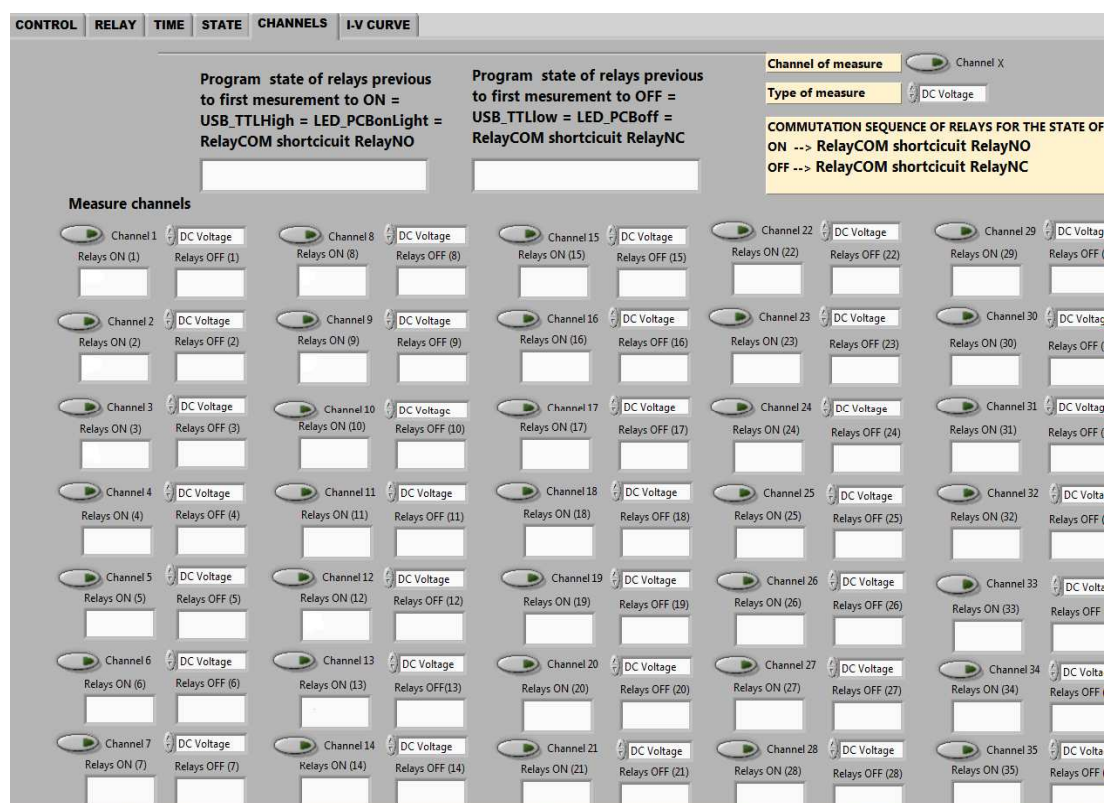


Figura 4.59: Pestaña de Estado.

I-V CURVE:

En la última pestaña se programan los valores de corriente deseados para realizar la medida de las curvas I-V.

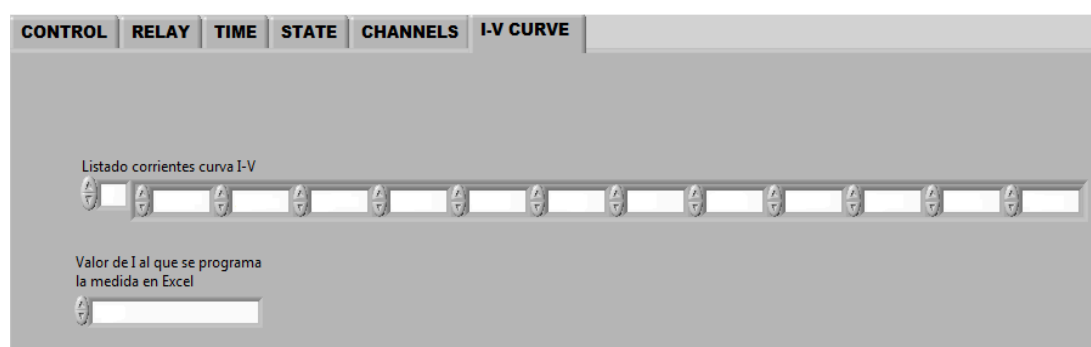


Figura 4.60: Pestaña de la Curva I-V.

GESTOR FUENTE:

Este gestor es el encargado de comunicar el programa con la fuente de alimentación Agilent 3631A.

Consta de 5 estados, que se gestionan mediante el Gestor Test.

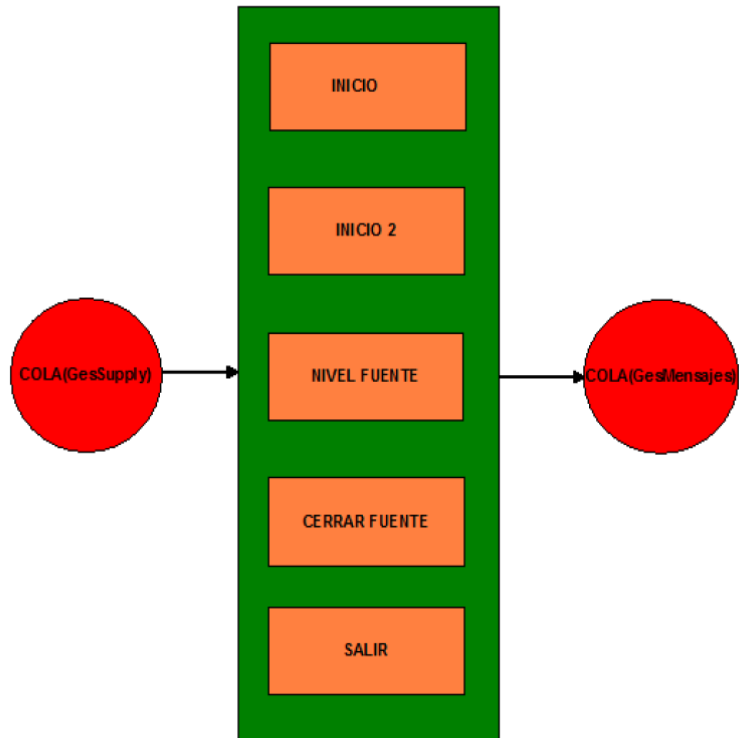


Figura 4.61: Diagrama de estados GesSupply.

GESTOR SWITCH:

Encargado de comunicarse con el hardware del multímetro, en concreto, con la tarjeta de adquisición de datos 7700.

Consta de 10 estados gestionados mediante el Gestor Test; cada vez que entra en uno de ellos, los relés se abren como medida de seguridad, evitando que en alguna ocasión se pudieran quedar cerrados por error, por lo que las medidas adquiridas no serían válidas.

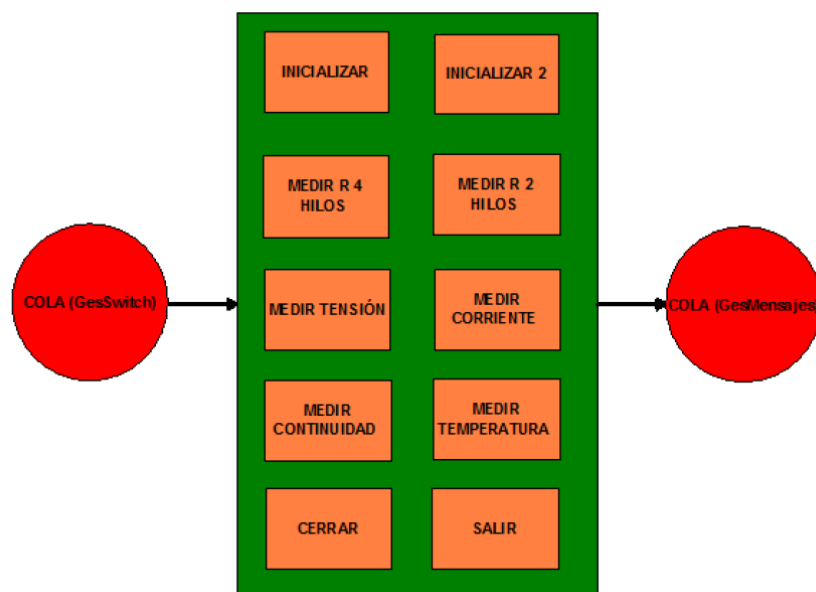


Figura 4.62: Diagrama de estados GesSwitch.

GESTOR USB:

Este gestor se encarga de gestionar las tareas relacionadas con la tarjeta de relés, a la cual están conectadas a través del dispositivo de National Instruments, NI USB 6501.

Es el responsable de hacer conmutar los relés, dependiendo de la configuración que se haya programado.

Consta de 7 estados que se gestionan por el Gestor Test.

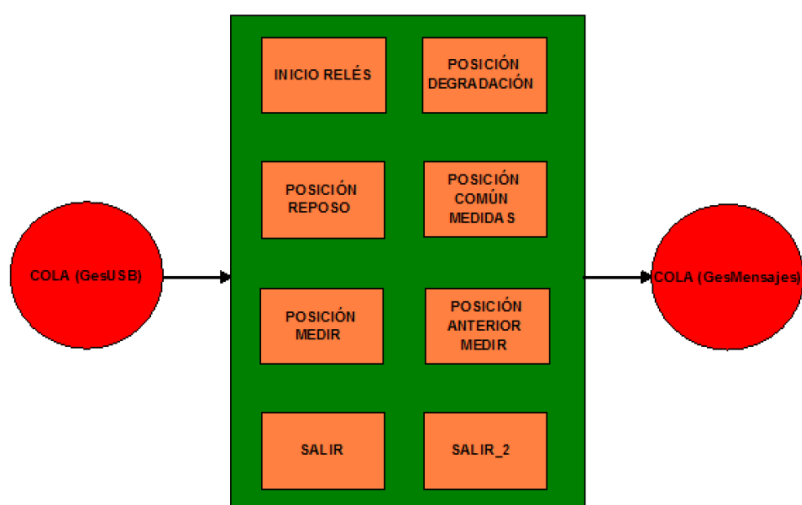


Figura 4.63: Diagrama de estados GesUSB.

GESTOR TEST:

Es el gestor encargado de controlar el funcionamiento global de la aplicación.

Está implementado como un autómata de estados y se encarga de enviar las órdenes al resto de gestores. Así mismo, se encarga de recibir información sobre los resultados de las ejecuciones realizadas por los gestores, que devolverán un OK en caso de resultado satisfactorio, o NOK en caso contrario. En caso de error se envía al gestor de usuario esta notificación indicando qué dispositivo lo ha generado. Se muestra el error y se para la ejecución.

La siguiente figura muestra la máquina de estados diseñada para poder llevar a cabo el ensayo.

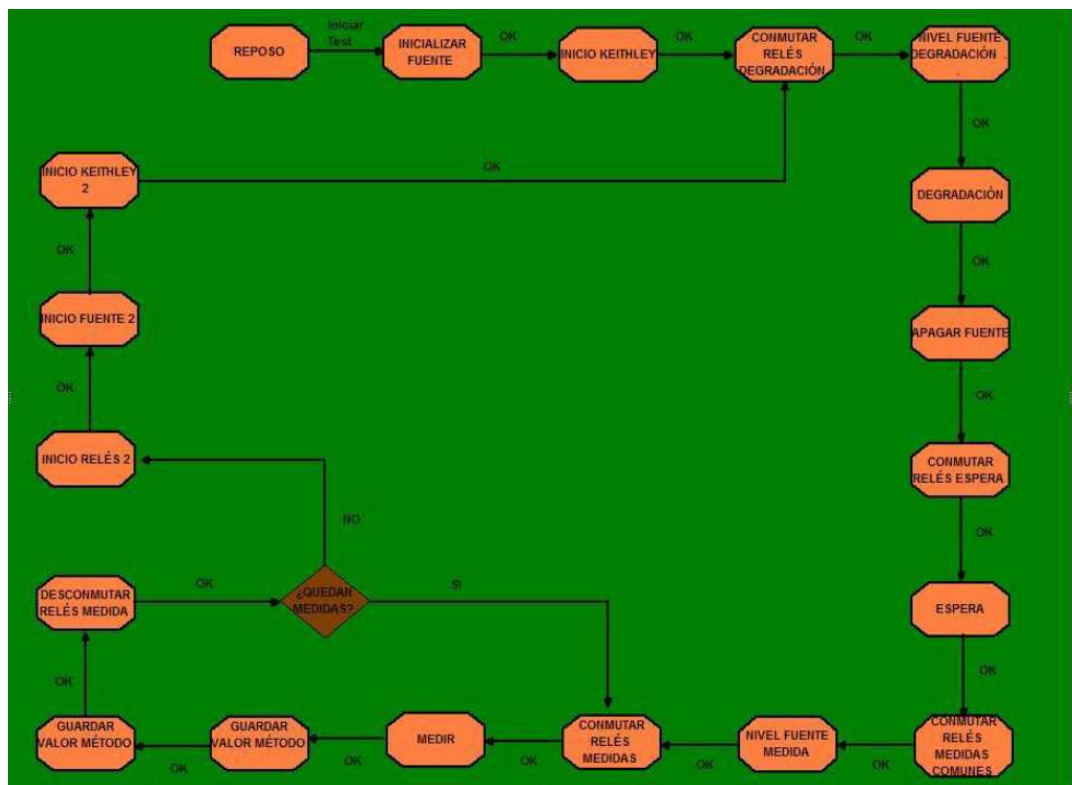


Figura 4.64: Diagrama de estados GesTest.

GESTOR MENSAJES:

Este gestor se encarga de hacer la llamada al gestor correspondiente y encolarle el mensaje para que lo pueda atender. Además, se encarga de ir mostrando todos los mensajes en el panel frontal del gestor usuario.

PROGRAMA LABVIEW 2:

El segundo programa de LabVIEW que se va a utilizar está diseñado para realizar medidas de curvas I-V de cada uno de los LEDs en el exterior de la cámara. Consiste en inyectar tensión que se incrementa periódicamente y medir a su vez, la corriente que consume el LED por cada valor de tensión.

Se puede dividir en dos módulos principales, uno encargado de gestionar un módulo Peltier para controlar la temperatura del entorno, y otro para realizar las medidas.

El programa ha sido facilitado por el departamento de Electrónica-Física, teniendo que adaptar parámetros de configuración para cumplir con las exigencias de este ensayo. Su funcionamiento se basa en el control de los siguientes dispositivos: una fuente de alimentación (Xantrex XDL 35), un módulo Peltier y un multímetro (Agilent 34410), a través del interfaz USB.

Tiene una ventana principal desde la que se controla todo el proceso y en la que se encuentra la configuración.

El control que se realiza del módulo Peltier tiene el siguiente aspecto:

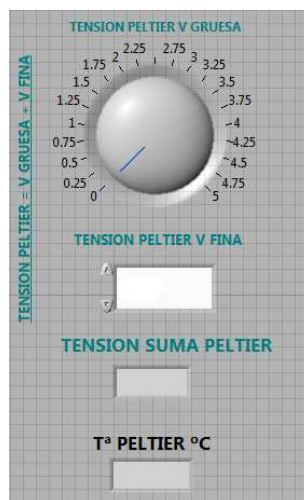


Figura 4.65: Control del módulo Peltier.

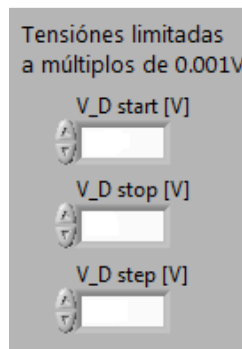
Permite observar la temperatura leída de la célula Peltier y controlarla según las necesidades variando su tensión.

Los parámetros necesarios para la construcción de la curva I-V, son:

- Valor de tensión inicial, a partir del cual se construye la curva I-V.
- Valor de tensión final, es el valor máximo de tensión con el que finalizan las medidas.

- Valor de tensión incremental: es el valor de los saltos de tensión.

El aspecto donde se configuran estos valores es el siguiente:



Tensiones limitadas
a múltiplos de 0.001V

V_D start [V]

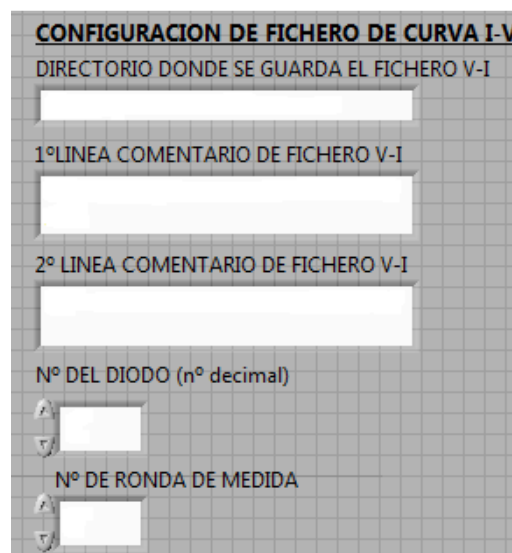
V_D stop [V]

V_D step [V]

The image shows a software window titled 'Tensiones limitadas a múltiplos de 0.001V'. It contains three input fields, each preceded by a small icon with a downward arrow. The fields are labeled 'V_D start [V]', 'V_D stop [V]', and 'V_D step [V]'.

Figura 4.66: Valores de Tensión para la curva I-V.

La última parte configurable que posee el programa es la referente a la construcción del fichero con las medidas. Esto es, la cabecera del fichero, la cual está compuesta de dos líneas de texto, y el directorio donde se guardará el archivo de salida. También, para facilitar la administración de los archivos, se establece el número de LED sobre el que se realiza la medida y el número de ronda. Estos datos formarán parte del nombre del archivo de salida, lo que ayudará a identificar fácilmente el LED y la ronda de medida.



CONFIGURACION DE FICHERO DE CURVA I-V

DIRECTORIO DONDE SE GUARDA EL FICHERO V-I

1º LINEA COMENTARIO DE FICHERO V-I

2º LINEA COMENTARIO DE FICHERO V-I

Nº DEL DIODO (nº decimal)

Nº DE RONDA DE MEDIDA

The image shows a software window titled 'CONFIGURACION DE FICHERO DE CURVA I-V'. It has a grid background. The first section is 'DIRECTORIO DONDE SE GUARDA EL FICHERO V-I' with a text input field. The second section is '1º LINEA COMENTARIO DE FICHERO V-I' with a text input field. The third section is '2º LINEA COMENTARIO DE FICHERO V-I' with a text input field. The fourth section is 'Nº DEL DIODO (nº decimal)' with a spin box. The fifth section is 'Nº DE RONDA DE MEDIDA' with a spin box.

Figura 4.67: Configuración del fichero de salida.

El resto de elementos que tiene el programa son indicativos y de visualización.

Se muestran los valores de protección de corriente y tensión, establecidos en la parte interna del programa, el nombre y la ruta del fichero de salida.

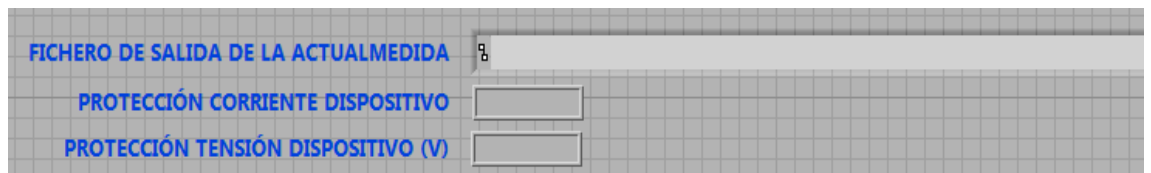


Figura 4.68: Visualización de parámetros internos.

Una vez se ejecute el programa y empiece a medir, los datos de cada medida se van mostrando en los siguientes indicadores:

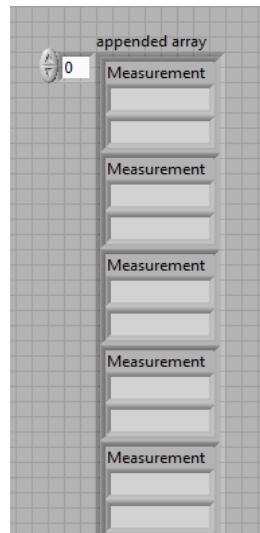


Figura 4.69: Indicadores de medida Tensión – Intensidad.

También conforme se realizan las medidas, se va dibujando una gráfica de la Curva I-V con los valores obtenidos:

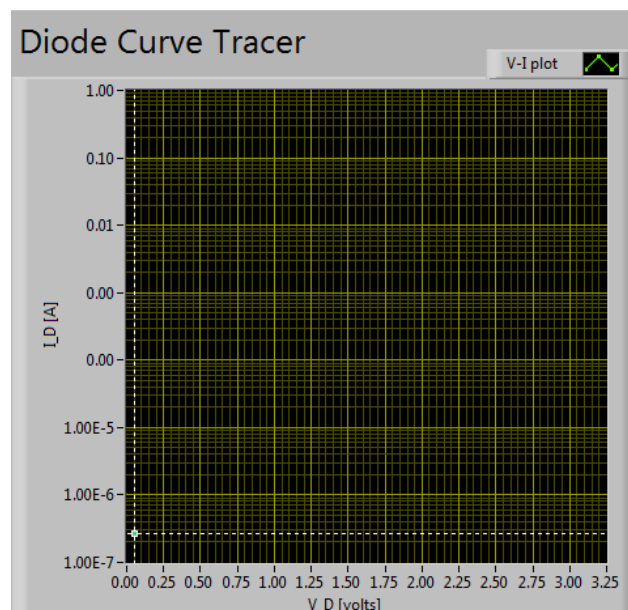


Figura 4.70: Gráfica de la Curva I-V.

Todo lo anterior conforma la ventana principal del programa, cuyo aspecto global se ilustra en la siguiente figura.

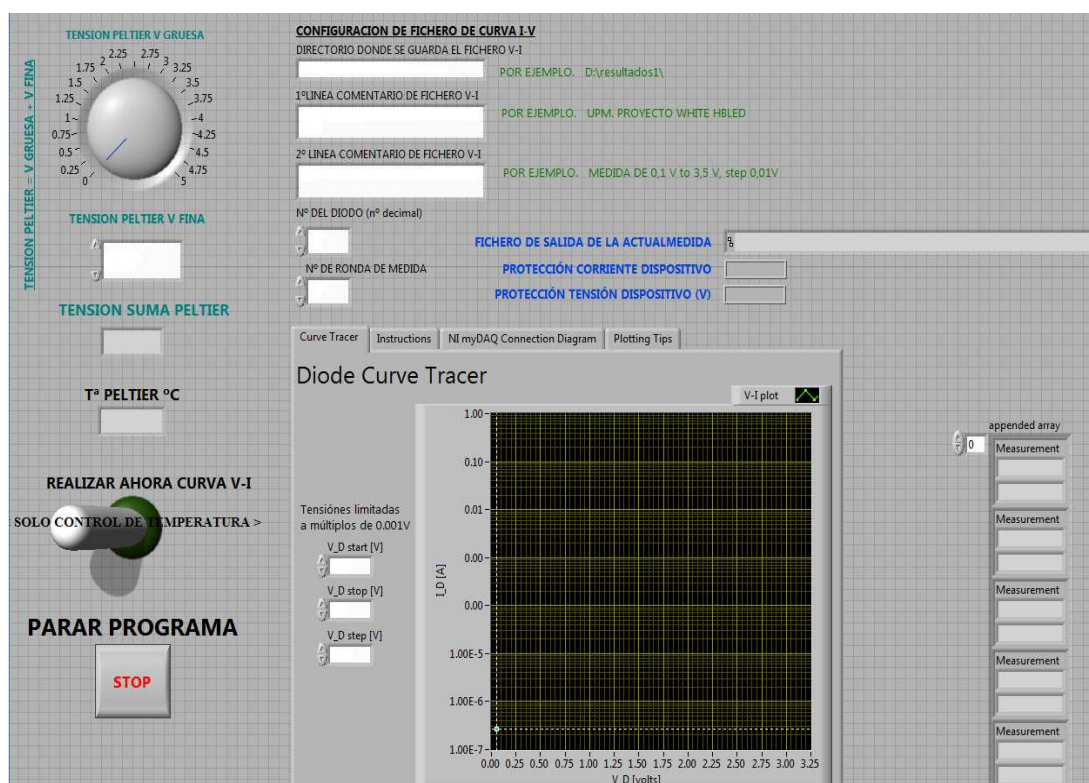


Figura 4.71: Programa LabVIEW 2: Curvas I-V.

Como se puede observar, el programa cuenta con dos mandos para iniciar las medidas o parar la ejecución.

4.3 DESARROLLO DEL ENSAYO

En este apartado se pretenden mostrar todas las fases del ensayo, desde el planteamiento inicial, hasta la obtención de los resultados.

4.3.1 FASE INICIAL

La primera fase consiste en preparar y establecer el entorno de trabajo del ensayo.

Lo primero que se debe diseñar son las placas de LEDs, que contienen los LEDs objeto de estudio del ensayo.

Se crean dos tarjetas de LEDs, de dos tiras cada una. En la primera tarjeta, una tira de LEDs para una corriente de 0 mA y otra para 10 mA; en la segunda tarjeta, una tira para 20 mA y otra para 40 mA. Los LEDs de 0 mA, tienen una función de referencia con respecto a los demás, ya que por estos LEDs no va a circular ninguna corriente; por lo cual, no es necesario un número elevado de LEDs, se fija una cantidad de 3 LEDs; para el resto de tiras se determinan 10 LEDs en cada una. También se necesita montar todo el cableado para conectar las tarjetas con el equipo de medida y las fuentes de alimentación.

El siguiente elemento es la cámara climática; al principio del ensayo se caracterizaron varias para fijar su comportamiento. Estas cámaras, más o menos fiables, no tenían función de humedad, solo función de horno, por lo que no cumplían con las especificaciones para llevar a cabo este ensayo.

Una vez asignada la cámara con la que realizar el ensayo (Heraus Vostch VK 108/250), se procede a su caracterización según la tabla de valores de temperatura-humedad que establece su funcionamiento. La temperatura de la cámara se caracteriza con una sonda de temperatura PT-100, y la humedad relativa, con el higrómetro HIH-4000-001.

t= 85.0 C E= 578.3 mbar					
U %	td C	t-tw C	e mbar	dv g/m3	r g/kg
100	85.0	0.0	578.3	349.5	827.1
99	84.7	0.2	572.5	346.0	808.1
98	84.5	0.5	566.8	342.5	789.5
97	84.2	0.8	561.0	339.0	771.5
96	84.0	1.0	555.2	335.5	753.9
95	83.7	1.3	549.4	332.0	736.7
94	83.4	1.5	543.6	328.5	720.0
93	83.2	1.8	537.8	325.0	703.7
92	82.9	2.0	532.1	321.5	687.8
91	82.6	2.3	526.3	318.0	672.2
90	82.3	2.6	520.5	314.6	657.0
89	82.1	2.9	514.7	311.1	642.2
88	81.8	3.1	508.9	307.6	627.7
87	81.5	3.4	503.1	304.1	613.5
86	81.2	3.7	497.4	300.6	599.7
85	80.9	4.0	491.6	297.1	586.1
84	80.6	4.2	485.8	293.6	572.9
83	80.3	4.5	480.0	290.1	559.9
82	80.0	4.8	474.2	286.6	547.2
81	79.7	5.1	468.4	283.1	534.8

Tabla 4.5: Tabla de relación temperatura-humedad, 85°C.

Se tiene que establecer una temperatura de 85° C con la tabla suministrada por el fabricante para esta temperatura. Se establece que para una humedad relativa de 85%, la temperatura de “húmedo” (td), tiene fijarse en 80,9.

Sin embargo, estableciendo esta configuración y analizándola con ambos sensores, se determina que en el display de temperatura “seca” de la cámara,

tiene que establecerse a 81 para obtener 85° C reales, es decir, hay que observar la tabla de relación temperatura-humedad para el valor de temperatura de 81° C:

t= 81.0 C		E= 493.4 mbar			
U %	td C	t-tw C	e mbar	dv g/m3	r g/kg
100	81.0	0.0	493.4	301.5	590.3
99	80.7	0.2	488.4	298.5	578.9
98	80.5	0.5	483.5	295.5	567.7
97	80.2	0.7	478.6	292.5	556.7
96	80.0	1.0	473.6	289.5	546.0
95	79.7	1.2	468.7	286.5	535.4
94	79.5	1.5	463.8	283.4	525.0
93	79.2	1.7	458.8	280.4	514.8
92	78.9	2.0	453.9	277.4	504.7
91	78.7	2.2	449.0	274.4	494.9
90	78.4	2.5	444.0	271.4	485.2
89	78.1	2.8	439.1	268.4	475.7
88	77.9	3.0	434.2	265.3	466.4
87	77.6	3.3	429.2	262.3	457.2
86	77.3	3.6	424.3	259.3	448.1
85	77.0	3.8	419.4	256.3	439.2
84	76.7	4.1	414.4	253.3	430.5
83	76.4	4.4	409.5	250.3	421.9
82	76.1	4.7	404.6	247.3	413.4
81	75.8	5.0	399.6	244.2	405.1

Tabla 4.6: Tabla de relación temperatura-humedad, 81°C.

Luego para conseguir un 85% de humedad relativa, el indicador de temperatura húmeda (td) tiene que fijarse en 77,0.

Para la realización del ensayo se necesitan dos puestos de trabajo independientes, uno encargado de gestionar las acciones del interior de la cámara climática y otro que gestione las acciones fuera de ella.

4.3.1.1 ENTORNO DE TRABAJO DEL ENSAYO PARA LA GESTIÓN EN EL INTERIOR DE LA CÁMARA CLIMÁTICA

Se establece el entorno para gestionar la degradación por corriente y las medidas en el interior de la cámara, el cual lo forman un PC, con el programa en LabVIEW necesario, la interfaz de comunicación USB/GPIB para conectar dicho PC con los equipos y con las placas de LEDs, y los equipos electrónicos que intervienen en este proceso, que son, dos fuentes de alimentación, un multímetro con tarjeta de adquisición de datos, y la tarjeta de relés para la conmutación necesaria en las medidas. El conjunto anterior da lugar al puesto de trabajo que gestiona la medida de curvas I/V y el proceso de degradación de corriente en el interior de la cámara climática.

La tarjeta de adquisición de datos posee 20 canales lógicos, por lo que se dividen entre las tiras de LEDs de 10, 20 y 40 mA (la tira de LEDs de 0 mA no

va a ser objeto de estas medidas, ya que su función es la de referenciar la degradación del resto de LEDs). Para medir un número equitativo de LEDs de estas tiras, conectaremos los 6 primeros LEDs de cada tira a un canal de la tarjeta del multímetro respectivamente.

Uno de los dos canales que quedan libres se usa para medir la temperatura del interior de la cámara mediante el sensor de temperatura PT-100. Esta medida es útil para comprobar si en algún momento de la degradación la cámara no funciona correctamente y por consiguiente, excluirla del tiempo total de degradación.

La configuración de estos equipos y sus respectivas funciones se realiza de manera automática mediante el software diseñado en LabVIEW.

El aspecto global de este entorno se resume con el siguiente diagrama:

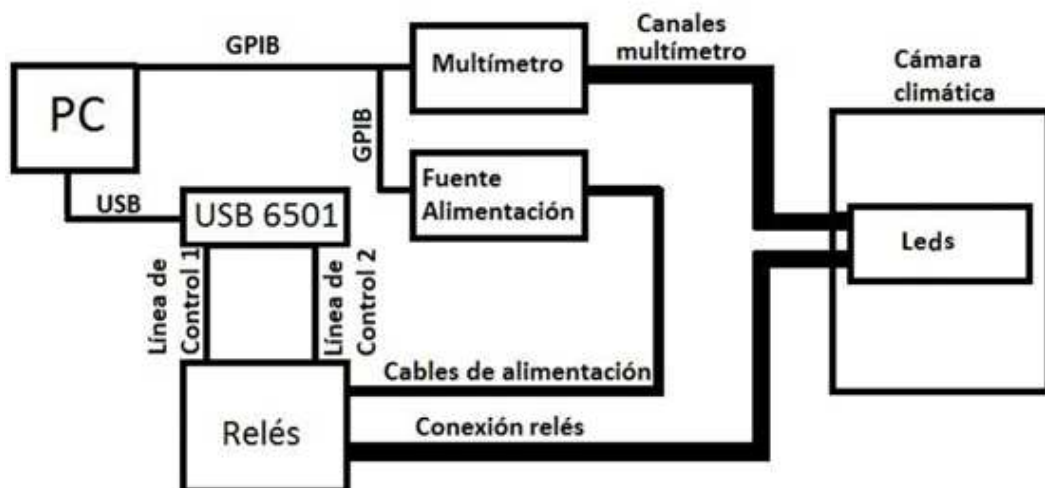


Figura 4.72: Diagrama entorno Interno.

4.3.1.2 ENTORNO DE TRABAJO DEL ENSAYO PARA LA GESTIÓN EN EL EXTERIOR DE LA CÁMARA CLIMÁTICA

La gestión del ensayo en el exterior de la cámara climática consiste en las medidas necesarias para obtener datos y resultados con los que poder estudiar en profundidad la progresiva degradación de los LEDs. Todas estas medidas han de realizarse a temperatura ambiente ($\sim 25^{\circ}\text{C}$); cuando se sacan los LEDs de la cámara, hay que esperar un tiempo prudencial para asegurar que su temperatura ha disminuido hasta la temperatura ambiente, antes de realizar cualquier medida.

En esta fase de medidas del ensayo se utilizan los siguientes equipos: un PC, provisto de un programa diseñado en LabVIEW que permite controlar un módulo Peltier, una fuente de alimentación y un multímetro, mediante una interfaz de comunicación USB, para realizar curvas I/V individuales de cada LED; un medidor de potencia óptica que mide la potencia luminosa que emite cada LED, y un espectrómetro para analizar la variación del espectro a lo largo del tiempo, conectado al PC vía USB.

Para realizar las medidas del espectro es necesario un software en el PC que nos permita controlar y gestionar su uso, el cual lo proporciona el propio fabricante del espectrómetro; fue necesario adquirir una esfera integradora, que se conecta a la fibra óptica del espectrómetro y permite medidas más fiables.

4.3.2 FASE DE CONFIGURACIÓN

En este apartado se describe la configuración necesaria de los equipos que intervienen; algunos equipos se configuran desde los programas diseñados en LabVIEW.

Hay que prestar atención a cada una de las configuraciones descritas, ya que una pequeña variación puede significar un gran cambio en los resultados. El procedimiento tiene que ser siempre el mismo y con los valores correspondientes.

4.3.2.1 CONFIGURACIÓN DE LA CAMARA CLIMATICA

La cámara climática tiene una configuración simple y únicamente se realiza la primera vez de uso; en ocasiones posteriores se ha de comprobar si mantiene dicha configuración, ya que queda guardada en la memoria.

Primero hay que activar la cámara; para ello, se gira el interruptor general, un cuarto hacia la derecha (1º), luego hay que pulsar el botón de encendido, que la pone en marcha (2º).

Una vez encendida la cámara, se configuran los valores de temperatura y humedad deseados, acordes con la caracterización realizada, fijando el valor 81 en el display de la izquierda, que es el de la temperatura de seco, y el

valor 77 en el de la derecha, que es el display de la temperatura de húmedo (3º).

Después de establecer los valores de las dos temperaturas, se pulsan los botones que activan el modo de temperatura y de humedad (4º) para que la cámara empiece a alcanzar las condiciones ambientales fijadas.

Los números de secuencia entre paréntesis, explican el orden de configuración que debe seguirse. Se puede observar dicho orden, gráficamente, en la siguiente figura:

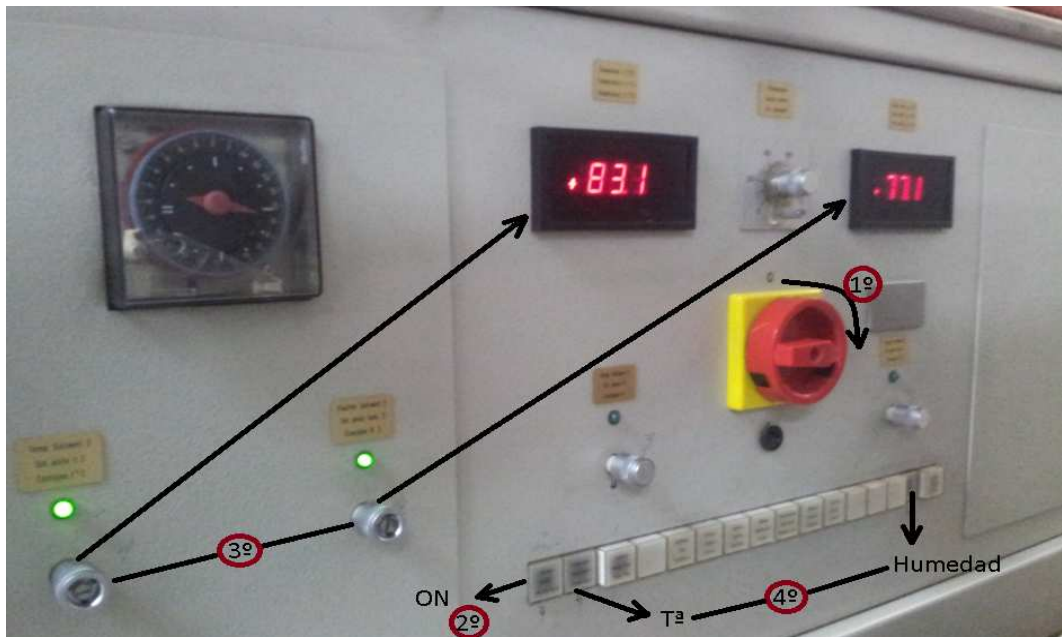


Figura 4.73: Pasos de la configuración de la cámara.

Para los siguientes usos de la cámara, hay que activarla, ponerla en marcha y comprobar que los valores fijados en los displays corresponden con los que se configuraron inicialmente; una vez comprobado, se activan las funciones de temperatura y humedad pulsando los botones.

Para el mantenimiento de la cámara, es necesario rellenar el depósito de agua desionizada; agua que la cámara utiliza para proporcionar la función de humedad. Este depósito se encuentra en la parte trasera de la cámara climática y suele durar 4 o 5 días de funcionamiento continuado.



Figura 4.74: Depósito de agua desionizada de la cámara climática.

4.3.2.2 CONFIGURACIÓN SOFTWARE DE LABVIEW

Los programas en LabVIEW son de gran importancia para el ensayo, ya que controlan el funcionamiento de los equipos; por ello, es importante realizar una precisa y correcta configuración.

PROGRAMA LABVIEW 1:

Como se ha visto en el apartado de Software, es el programa que se encarga de realizar la degradación por corriente y las medidas en el interior de la cámara.

Se ejecuta el programa LabVIEW y se selecciona el archivo de la interfaz del programa, o bien se puede ejecutar el programa directamente abriendo dicho archivo: "GESusuario.vi".

Se muestra la configuración para cada una de las pestañas de este gestor. La pestaña STATE es solo de visualización, por lo que no aparece en este apartado.

CONTROL:

POWER SUPPLY LEVEL V [V] AND I [A] FOR THE STATE OF DEGRADATION

V_stress +6 0	V_stress +25 25	V_stress -25 -25
I_stress +6 0,00	I_stress +25 10,00m	I_stress -25 20,00m

Figura 4.75: Configuración de la Fuente en estado de Degradación.

POWER SUPPLY LEVEL V [V] AND I [A] FOR THE STATE OF MEASURE

V_measure +6 0	V_measure +25 25	V_measure -25 0
I_measure +6 0,00	I_measure +25 25,00m	I_measure -25 0,00

Figura 4.76: Configuración de la Fuente en estado de Medida.

NUMBER OF FIRST ROUND MEASURE

Number of round measure
336

Apagar tras el nº de ronda de medida
339

Test name
prueba

Figura 4.77: Gestión Rondas de Medida y Nombre del Test.

LOAD CONFIGURATION	Path of file to load	C:\resultados v0\configuracion	File name to load	pruebaivam2good
	Path of file to save	C:\resultados v0\configuracion	File name to save	pruebaivam2good
SAVE CONFIGURATION				

PATH FOR SAVE THE MEASURES

Path for save the measures in format .txt	D:\Resultados	Folder name for save the measures in format .txt	Validacion
Path for save the measures in format .xls	D:\Resultados	Folder name for save the measures in format .xls	Validacion

Figura 4.78: Ficheros de configuración.

RELAY:

SEQUENCE COMMUTATION OF RELAYS FOR THE STATE OF DEGRADATION
ON --> RelayCOM shortcircuit RelayNO
OFF --> RelayCOM shortcircuit RelayNC

Relays in the state of degradation ON
 SEPARATE EACH CHANNEL WITH COMMA (,).

Relays in the state of degradation OFF
 SEPARATE EACH CHANNEL WITH COMMA (,).

SEQUENCE COMMUTATION OF RELAYS FOR THE WAITING STATE
ON --> RelayCOM shortcircuit RelayNO
OFF --> RelayCOM shortcircuit RelayNC

Relays in the waiting state ON
 SEPARATE EACH CHANNEL WITH COMMA (,).

Relays in the waiting state OFF
 SEPARATE EACH CHANNEL WITH COMMA (,).

Figura 4.79: Configuración de los Relés.

TIME:

<p>TIME OF DEGRADATION</p> <p>Hours (initials of simulation)</p> <input type="text" value="0"/>	<p>WAITING TIME UNTIL TAKE THE MEASURES</p> <p>Hours (wait until measure)</p> <input type="text" value="0"/>
<p>Minutes (initials of simulation)</p> <input type="text" value="360"/>	<p>Minutes (wait until measure)</p> <input type="text" value="5"/>
<p>TIME OF DEGRADATION FOR THE FIRST TIME</p> <p>Simulation hours for the first time</p> <input type="text" value="0"/>	
<p>Simulation minutes for the first time</p> <input type="text" value="360"/>	

Figura 4.80: Configuración de Tiempos.

CHANNELS:

Program state of relays previous to first mesurement to ON =
USB_TTLHigh = LED_PCBoNLight =
RelayCOM shortcircuit RelayNO

13,14,15,16

Program state of relays previous to first mesurement to OFF =
USB_TTLlow = LED_PCBoff =
RelayCOM shortcircuit RelayNC

2,3,4,1,6,7,8,5,10,11,12,9

Measure channels

Channel	Relays ON	Relays OFF	Measurement Type
Channel 1	3,2		DC Voltage
Channel 2	3,2		DC Voltage
Channel 3	3,2		DC Voltage
Channel 4	3,2		DC Voltage
Channel 5	3,2		DC Voltage
Channel 6	3,2		DC Voltage
Channel 7	7,6		DC Voltage
Channel 8	7,6		DC Voltage
Channel 9	7,6		DC Voltage
Channel 10	7,6		DC Voltage
Channel 11	7,6		DC Voltage
Channel 12	7,6		DC Voltage
Channel 13	11,10		DC Voltage
Channel 14	11,10		DC Voltage
Channel 15	11,10		DC Voltage
Channel 16	11,10		DC Voltage
Channel 17	11,10		DC Voltage
Channel 18	11,10		DC Voltage
Channel 19			DC Voltage
Channel 20			Resistance
Channel 21			DC Voltage

Figura 4.81: Configuración de los canales.

I-V CURVE:

Listado corrientes curva I-V

0 0,003 0,005 0,008 0,011 0,014 0,017 0,02 0,023 0,026 0,029 0,032 0,035

Valor de I al que se programa la medida en Excel

0,02

Figura 4.82: Configuración Curva I-V.

PROGRAMA LABVIEW 2:

Existen 4 programas idénticos que tienen la misma funcionalidad, solo cambia la información de la cabecera del fichero de texto que generan, es decir, cambia el valor de la tira de LEDs sobre la cual realizan las medidas. También varía la ruta de destino del fichero generado. Cada tira de LEDs tiene su propia carpeta de almacenamiento de medidas.

Al tener el mismo funcionamiento, se va a explicar la configuración que se necesita para la tira de LEDs de 40 mA, diferenciando la configuración que tiene el resto de programas.

A diferencia del otro programa de LabVIEW, este no posee pestañas, tiene una única ventana de configuración:

CONFIGURACION DE FICHERO DE CURVA I-V

DIRECTORIO DONDE SE GUARDA EL FICHERO V-I
D:\PFC_IVAN\RESULTADOS40\ POR EJEMPLO. D:\resultados1\

1ª LINEA COMENTARIO DE FICHERO V-I
UPM. PFC_IVAN LED ROJOS 85°C 85% HR POR EJEMPLO. UPM. PROYECTO WHITE HBLED

2ª LINEA COMENTARIO DE FICHERO V-I
DE 0.05 A 3.2V CON SALTOS DE 0.050 V POR EJEMPLO. MEDIDA DE 0.1 V to 3.5 V, step 0.01V

Figura 4.83: Configuración del fichero de salida.

El fichero se almacena en la carpeta RESULTADOS40, para el resto de programas: RESULTADOS20, RESULTADOS10 y RESULTADOS0, respectivamente.

FICHERO DE SALIDA DE LA ACTUAL MEDIDA D:\PFC_IVAN\RESULTADOS40\Diode_1_date-19_03_2013 17:59:23 round_0.txt

PROTECCIÓN CORRIENTE DISPOSITIVO 130.00E-3

PROTECCIÓN TENSIÓN DISPOSITIVO (V) 4.00E+0

Figura 4.84: Visualización de configuración interna.

Esos parámetros no se pueden cambiar desde esa ventana, pertenecen a la configuración interna del programa y únicamente sirven de información.

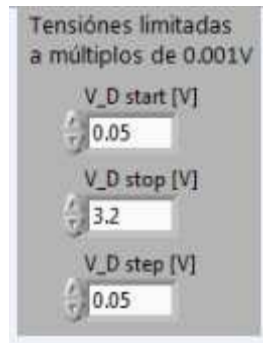


Figura 4.85: Configuración de la Tensión de la curva.

Con estos valores fijados conseguimos diseñar una curva I-V para valores de tensión que empiezan en 50 mV, con el mismo valor incremental, hasta llegar a una tensión máxima fijada en 3,2 V.

PROGRAMA ESPECTRÓMETRO:

La configuración del espectrómetro se reduce a la del área de control.

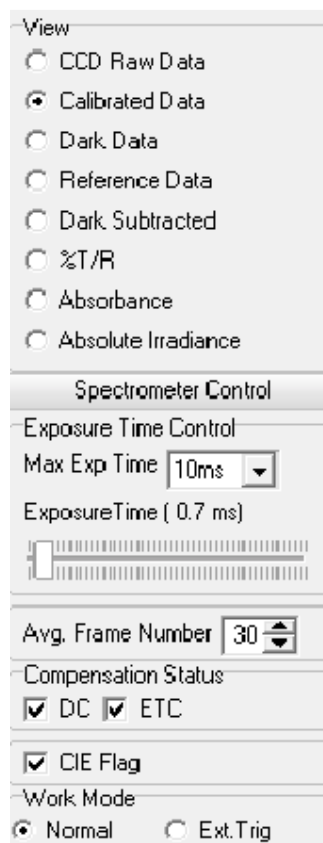


Figura 4.86: Configuración del espectrómetro.

4.3.3 FASE DE DESARROLLO

En esta fase se describen todos los pasos que se realizan en un ciclo completo del ensayo, es decir, desde que se introducen las tarjetas de LEDs en la cámara climática, hasta que finalizan todas las medidas externas y se procede de nuevo a introducir las tarjetas en el interior de la cámara climática.

Esta fase se divide en dos procesos principales, el proceso referente al desarrollo dentro de la cámara climática y el proceso llevado a cabo en el exterior.

4.3.3.1 DEGRADACIÓN Y MEDIDAS INTERNAS

El primer paso es encender la cámara climática y las funciones de temperatura y humedad. Hecho esto, hay que esperar a que alcance los niveles de funcionamiento establecidos antes de introducir las tarjetas de LEDs. Durante este tiempo de espera, se encienden el resto de equipos y se procede a la configuración del software de LabVIEW.

Se enciende el PC, las fuentes de alimentación Agilent y BK, y el multímetro Keithley. Una vez arrancado el PC, se abre el programa LabVIEW y dentro de él, abrimos el programa diseñado, se configura y se deja preparado para empezar a funcionar cuando las tarjetas de LEDs se encuentren en el interior de la cámara climática. Cuando se alcanzan los valores programados de temperatura y humedad de la cámara, se introducen las tarjetas de LEDs y se pone en marcha el programa de LabVIEW.

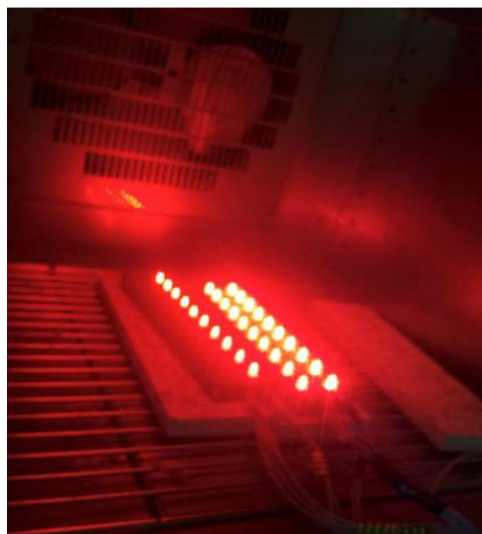


Figura 4.87: Tarjetas de LEDs en su fase de degradación.

En ese momento anotamos los parámetros de configuración del ciclo que se acaba de iniciar (número de ronda, fecha y hora, tiempo de degradación, número de ciclos programados, ronda final programada) en una tabla de seguimiento.

Cada ciclo del programa empieza con la fase de degradación del tiempo programado, luego la fase de reposo y por último la fase de medición. Este proceso se repite en ese orden.



Figura 4.88: Multímetro Keithley midiendo.

Para que finalice este proceso, hay dos alternativas: o bien el programa alcanza la ronda final programada, en cuyo caso el programa se para por completo y deja de inyectar corriente a los LEDs y de realizar las medidas, aunque la cámara seguirá encendida y degradando ambientalmente; o bien se para manualmente el programa y se extraen las tarjetas del interior. En cualquiera de los dos casos, se anotan en la tabla de seguimiento los parámetros de finalización del ciclo terminado (fecha y hora, número de ronda, tiempo de degradación) y el tiempo total acumulado de degradación.

4.3.3.2 MEDIDAS EXTERNAS

En el exterior de la cámara climática se realizan tres tipos de medidas, no siguen un orden establecido, aunque después de la primera vez se recomienda seguir ese orden.

MEDIDA DE POTENCIA

La medida de potencia se realiza con el equipo de potencia óptica de Anritsu.

Lo primero es encender la fuente de alimentación Agilent 3631A y programar la salida de la fuente de +25 V, limitando la tensión a 22 V (valor mínimo que garantiza que no se sature por tensión) y la corriente a 20 mA. Mantener las salidas de la fuente en corte.

Conectar el cableado de alimentación del conector de 6 pines (el cual está configurado para alimentar una sola tira de LEDs (10, 20 o 40 mA) al conector de alimentación de las tarjetas y a la salida de la fuente de +25 V.

Encendemos el medidor y colocamos el conector casero en la entrada del sensor óptico. Observamos que el medidor tenga la configuración recomendada.



Figura 4.89: Equipo Anritsu listo para medir.

Se activan las salidas de la fuente, momento en el que la tira de LEDs configurada en el conector, se enciende.

Empezando por el primer LED de la tira encendida, se introduce en el agujero del conector del sensor. El equipo marca un nivel de potencia óptica en la escala de nW, de formato 0,XXX μ W.



Figura 4.90: Ejemplo de medida de potencia óptica.

Hay que anotar el valor más elevado de potencia que somos capaces de medir, para realizar esta medida siempre con el mismo criterio.

Una vez anotado el valor de potencia luminosa obtenido, se levanta el conector del LED y se pasa a medir el siguiente, y así sucesivamente hasta llegar al último de la tira.

Al medir el último LED de la tira, se cortan las salidas de la fuente y se conmuta el conector para realizar medidas en otra tira de LEDs diferente. Una vez conmutado, se activan las salidas de la fuente y se ilumina una tira de LEDs distinta de la que se había medido, repitiendo todo el proceso.

Después de realizar las medidas de potencia en las tres tiras que permite alimentar este cableado, se procede a medir la tira de LEDs restante, la de 0 mA. Se corta la salida de la fuente para intercambiar el cableado.

Al no disponer de conector de alimentación, se debe desconectar el cableado que se ha usado de la fuente de alimentación y colocar en su lugar un cableado con terminales de cocodrilo, que se conectan en los extremos de la tira de 0 mA y a la misma salida de +25 V de la fuente de alimentación. No hace falta reconfigurar la fuente, ya que sigue limitada a 20 mA.

Se activa la salida de la fuente y se procede a medir de la misma manera.

Cuando se termina de medir la potencia de los LEDs de 0 mA, se finaliza la medida de potencia óptica; se puede apagar la fuente de alimentación,

aunque la configuración de la fuente sirve para realizar la medida del espectro.

MEDIDA DE ESPECTRO

La medida de espectro se realiza con el espectrómetro Mightex a través del software proporcionado por el fabricante.

Es un procedimiento similar a la medida de potencia; lo primero es encender la fuente de alimentación Agilent 3631A y programar la salida de la fuente de +25 V, limitando la tensión a 22 V (valor mínimo que garantiza que no se sature por tensión) y la corriente a 20 mA. Mantener las salidas de la fuente en corte.

Conectar el cableado de alimentación del conector de 6 pines (el cual está configurado para alimentar una sola tira de LEDs (10, 20 o 40 mA), al conector de alimentación de las tarjetas y a la salida de la fuente de +25 V.

Arrancamos el PC del puesto común y el software del espectrómetro; después se activan las salidas de la fuente, momento en el cual, la tira de LEDs configurada en el conector, se enciende.

Empezando por el primer LED de la tira encendida, se introduce en el agujero de la esfera integradora.

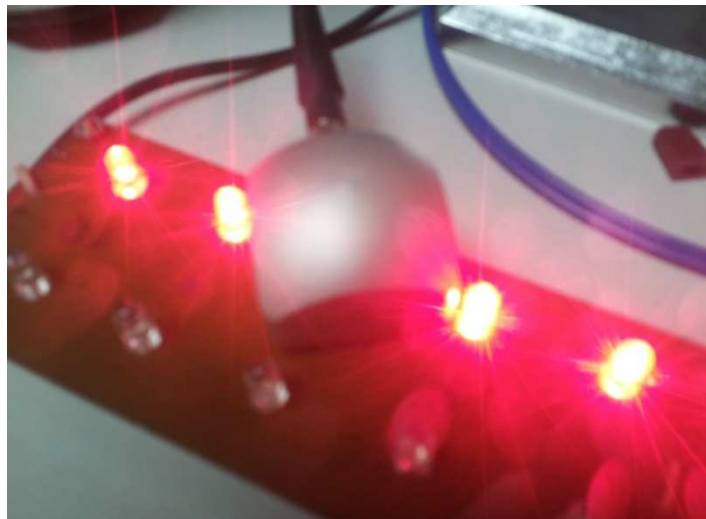



Figura 4.91: Ejemplo de medida del espectro. Vista de la esfera integradora.

Hay que comprobar que el LED se introduce correctamente en la esfera y que permanece lo más horizontal posible, es decir, en paralelo con la placa, para realizar esta medida siempre con el mismo criterio.

Con la configuración correcta del programa, se pulsa el botón de la barra de herramientas  que permite una medida única del espectro. En la ventana de gráfico se visualizará el espectro.

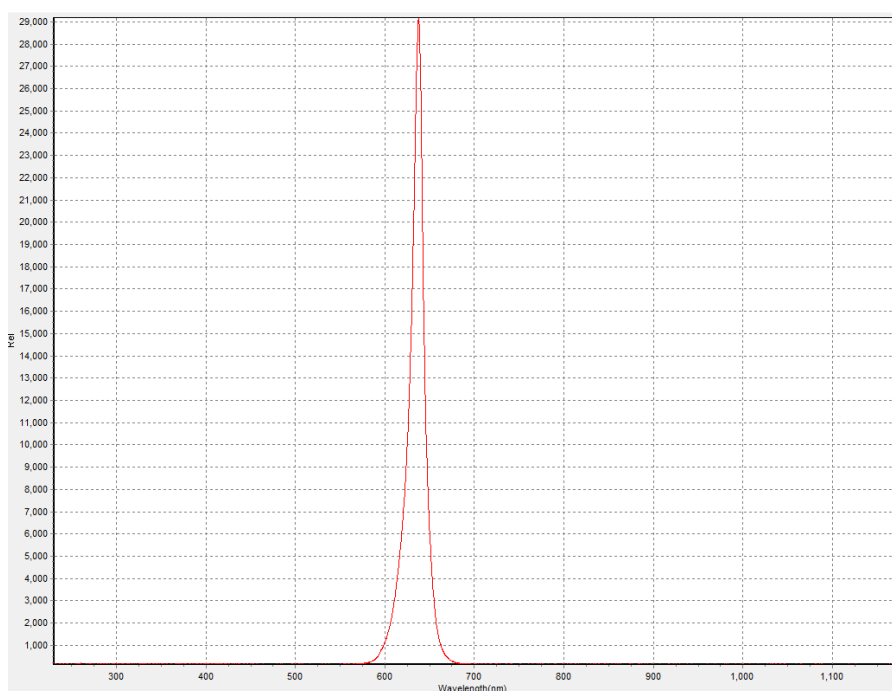



Figura 4.92: Ejemplo de la gráfica del espectro.

Para guardar cada medida del espectro se van a exportar los datos a un fichero de texto; para hacer esto hay que pulsar el botón de la barra de herramientas que tiene el siguiente aspecto: . Cada LED tiene una carpeta propia, por lo que todas las medidas realizadas para ese LED se guardarán juntas, diferenciándose por el nombre del fichero, en el que se indica la fecha y el número de ronda de cada medida.

Después de guardar los datos de la captura del espectro en el archivo de texto, levantamos la esfera y la colocamos encima del siguiente LED, y así sucesivamente.

Al medir el último LED de la tira, se cortan las salidas de la fuente y se conmuta el conector para realizar medidas en otra tira de LEDs diferente. Una vez conmutado se activan las salidas de la fuente y se ilumina una tira de LEDs distinta de la que se había medido, repitiendo todo el proceso.

Después de realizar la medida de espectro en las tres tiras que nos permite alimentar este cableado, se procede a medir la tira de LEDs restante, la de 0 mA. Se corta la salida de la fuente para intercambiar el cableado.

Al no disponer de conector de alimentación, se debe desconectar el cableado que se ha usado, de la fuente de alimentación y colocar en su lugar un cableado con terminales de cocodrilo, que se conectan en los extremos de la tira de 0 mA y a la misma salida de +25 V de la fuente de alimentación. No hace falta reconfigurar la fuente, ya que sigue limitada a 20 mA.

Se activa la salida de la fuente y se procede a medir de la misma manera.

Cuando se termina de medir la potencia de los LEDs de 0 mA, se finaliza la medida del espectro. Se apaga la fuente de alimentación y se desconecta el cableado. Se cierra el software utilizado.

MEDIDA DE CURVAS I/V

En estas medidas intervienen varios equipos, por lo que hay que revisar que todo el conexionado entre ellos sea el correcto, módulo Peltier, terminales de sensado, multímetro,...

Se enciende el PC del puesto común y se carga el primero de los 4 programas de LabVIEW que hay para realizar estas medidas. Dependiendo del programa que se haya abierto, se medirá la tira de LEDs correspondiente.

Se conectan los cocodrilos de conexión a los terminales del primer LED de la tira, el terminal positivo al ánodo y el negativo al cátodo y se coloca la célula Peltier encima, haciendo coincidir la cabeza del LED en la hendidura existente en el cemento.

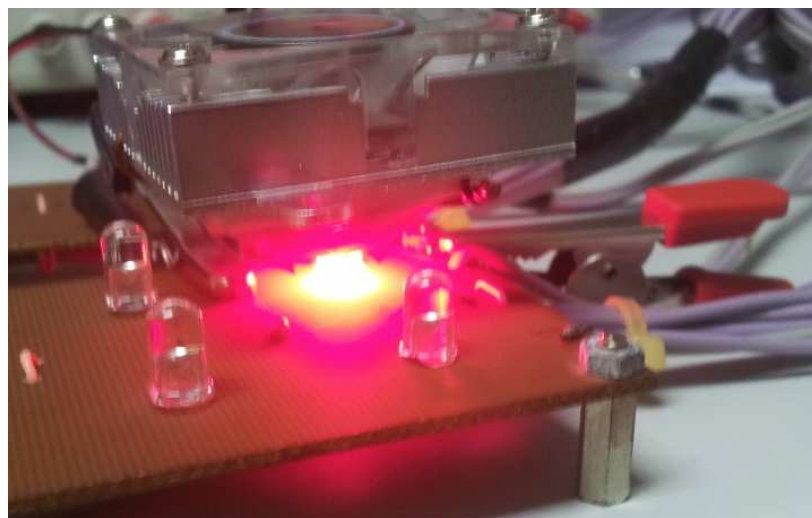


Figura 4.93: Aspecto medición curva I/V. Conexión y módulo Peltier.

Después de poner en marcha el programa y antes de empezar a medir, hay que hacer alguna comprobación: que la configuración de los parámetros sea la correcta, que la temperatura de la célula Peltier sea de $25 \pm 0,5$ °C y permanezca estable; para cambiarla, hay que elevar o disminuir el nivel de tensión de la célula.

Hay que poner el número de LED sobre el que se va a realizar la medida, y el número de ronda de medida actual. Esto ayuda a la organización posterior de los resultados.

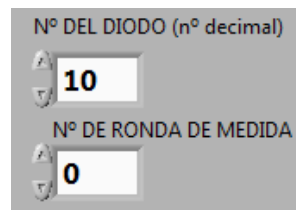


Figura 4.94: Configuración Nº de diodo y ronda.

Se da comienzo a las medidas; se inyecta tensión de forma incremental, según el incremento programado, y se mide la corriente para cada valor de tensión.

Se va dibujando progresivamente la gráfica I/V resultante.

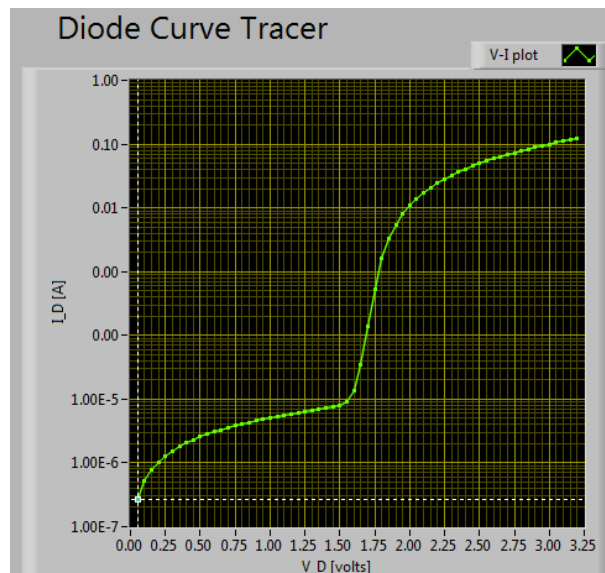


Figura 4.95: Gráfica I/V.

Puede ocurrir que la medida llegue al límite máximo de corriente establecido; aunque se limite la corriente, el programa no parará hasta llegar al límite de tensión fijado.

Los datos de la medida se almacenan en un archivo de texto según la ruta de destino configurada. En el nombre del archivo van implícitos el número de ronda, el número de LED sobre el que se ha hecho la medida, y la fecha.

Se desconectan los cocodrilos de los terminales del LED y se conectan a los terminales del siguiente, igualmente colocamos la célula Peltier encima del siguiente LED. De esta manera hasta acabar la tira de LEDs correspondiente.

Después de medir todos los LEDs de la tira, hay que cerrar el programa y abrir el siguiente correspondiente a otra tira; repetir todo el proceso. Así, hasta haber medido todos los LEDs de las 4 tiras diferentes de corriente.

4.4 CONCLUSIONES CAPITULO 4

En este capítulo se ha intentado resumir todo lo referente a las actividades prácticas realizadas a largo del PFC.

- Después de una breve introducción del ensayo, se ha procedido a la descripción de su entorno, donde se han descrito todos los equipos, componentes o programas que han sido necesarios a lo largo del PFC. Además, se ha descrito la necesidad de cada uno de ellos dentro del ensayo y sus características más destacables.
- Por último, se han descrito las diferentes actividades desarrolladas a lo largo del PFC desde su comienzo hasta su finalización; planteamiento inicial, configuraciones, desarrollo de las medidas,...

Con este capítulo se pretende dar una idea global de todo el trabajo realizado.

Capítulo 5

Resultados

5. RESULTADOS

5.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo está dedicado a la presentación de los resultados obtenidos a lo largo de la realización del ensayo.

Como se ha comentado en el capítulo anterior, se realizan cuatro tipos de medidas:

- Curvas I/V y medida de temperatura dentro de la cámara climática.
- Curvas I/V en el exterior de la cámara.
- Medida de potencia óptica.
- Medida del espectro.

Son medidas independientes y se obtienen por desarrollos distintos, pero todas son necesarias a la hora de observar la evolución de los LEDs, objeto de este ensayo.

Para realizar las medidas que se van a realizar fuera de la cámara climática se interrumpe el ensayo de degradación.

Al comienzo del ensayo las medidas se realizaban con mayor frecuencia, era necesario establecer un comportamiento inicial de la variación que existía entre ellas; sin embargo, se observó que las medidas no variaban significativamente y se fueron espaciando en el tiempo al resultar innecesario tal frecuencia de medidas.

La duración del ensayo acelerado, es decir, el tiempo que los LEDs se encuentran en el interior de la cámara, sometidos a las condiciones ambientales y al estrés por corriente, es de 1270 horas aproximadamente.

A continuación van a describirse los resultados obtenidos en cada una de las medidas.

5.2 POTENCIA ÓPTICA

Las medidas realizadas con el medidor óptico son rápidas de realizar y bastante prácticas para observar el efecto de la degradación en los LEDs. Se realizan cada vez que los LEDs se sacan de la cámara climática, ya sea por finalización

automática del programa o por parada manual; la frecuencia de estas medidas es de 2 a 3 veces por semana.

Para realizar estas medidas se limita la salida de la fuente de alimentación a 20 mA para todas las tiras de LEDs.

Todos los valores obtenidos con este equipo, se han escrito en Excel, diseñando tablas y gráficas para un seguimiento y un estudio posterior más cómodo.

5.2.1 RESULTADOS

Cada ronda de medida se transcribía como se puede observar en la siguiente tabla, indicando el número de ronda y la fecha.

RONDA	FECHA	Led	μW		
			10 mA	20 mA	40 mA
1	03/06/2013	1	644	647	622
1	03/06/2013	2	665	616	733
1	03/06/2013	3	717	620	696
1	03/06/2013	4	628	673	637
1	03/06/2013	5	717	594	639
1	03/06/2013	6	642	594	636
1	03/06/2013	7	712	776	695
1	03/06/2013	8	660	639	711
1	03/06/2013	9	701	605	694
1	03/06/2013	10	694	558	682

Tabla 5.1: Valores medidas de Potencia Óptica

Se van ampliando los datos con las siguientes rondas de medida, hasta un total de 32 rondas de medida válidas.

Los resultados válidos obtenidos se han agrupado en tablas principales, una para cada nivel de corriente, como se puede observar en las siguientes tablas.

FECHA	TIEMPO (MIN)	RONDA	10 mA									
			LED 1	LED 2	LED 3	LED 4	LED 5	LED 6	LED 7	LED 8	LED 9	LED 10
03/06/2013	0	1	644	672	717	628	717	642	712	660	701	694
04/06/2013	314	2	674	665	735	645	725	650	730	673	707	704
05/06/2013	624	3	660	666	730	640	730	660	730	670	710	710
06/06/2013	929	4	682	660	748	663	740	693	750	682	713	714
12/06/2013	1278	5	681	681	738	649	736	665	746	683	711	720
13/06/2013	1623	6	682	678	738	644	729	661	742	680	715	732
14/06/2013	2035	7	685	675	742	657	738	675	756	690	730	721
18/06/2013	3011	8	686	681	740	654	717	678	739	691	729	741
19/06/2013	4214	9	698	690	759	662	743	680	744	692	727	723
20/06/2013	4347	10	694	695	765	665	743	678	750	697	735	731
21/06/2013	5367	11	691	693	776	668	760	687	744	707	747	742
25/06/2013	6987	12	692	708	772	684	762	700	751	711	757	767
26/06/2013	8247	13	685	701	758	681	755	700	747	709	755	757
27/06/2013	9547	14	707	698	758	690	770	701	741	723	752	764
29/06/2013	12135	15	687	702	766	688	759	696	741	700	752	764
01/07/2013	14790	16	739	703	785	704	776	720	741	725	773	783
03/07/2013	17518	17	711	736	790	704	770	726	741	725	776	782
05/07/2013	20264	18	730	724	790	706	773	731	741	728	776	783
08/07/2013	24323	19	717	713	786	707	772	727	746	729	779	779
10/07/2013	26843	20	748	709	817	711	783	732	777	740	776	760
12/07/2013	28932	21	738	730	821	716	790	721	777	738	778	762
16/07/2013	33632	22	738	733	825	713	790	741	782	748	790	765
19/07/2013	37727	23	732	738	826	710	781	738	781	745	788	790
22/07/2013	41979	24	722	738	810	720	781	738	781	750	766	773
25/07/2013	45610	25	734	733	804	695	760	732	766	737	762	752
13/09/2013	48400	26	732	737	816	700	741	740	789	744	765	775
17/09/2013	53400	27	740	751	810	695	750	736	789	744	766	777
20/09/2013	57636	28	711	744	798	688	741	731	780	738	763	754
23/09/2013	61460	29	717	742	798	692	748	740	783	744	762	776
27/09/2013	66500	30	725	741	800	689	746	734	783	738	766	800
30/09/2013	70843	31	724	751	808	687	743	734	783	732	753	796
04/10/2013	75991	32	726	749	815	700	753	745	745	745	745	745

Tabla 5.2: Potencia LEDs 10 mA.

FECHA	TIEMPO (MIN)	RONDA	20 mA									
			LED 1	LED 2	LED 3	LED 4	LED 5	LED 6	LED 7	LED 8	LED 9	LED 10
03/06/2013	0	1	647	616	620	673	594	594	776	639	605	558
04/06/2013	314	2	653	619	633	700	587	586	764	656	615	571
05/06/2013	624	3	660	620	640	710	590	580	750	650	610	570
06/06/2013	929	4	672	641	661	712	602	606	767	665	631	581
12/06/2013	1278	5	665	630	658	712	588	598	752	660	621	580
13/06/2013	1623	6	663	628	653	710	589	581	751	657	620	585
14/06/2013	2035	7	680	642	679	718	595	591	769	676	640	589
18/06/2013	3011	8	671	627	676	714	591	600	774	652	628	580
19/06/2013	4214	9	683	639	683	734	604	603	800	654	641	590
20/06/2013	4347	10	678	641	684	733	611	607	802	650	611	587
21/06/2013	5367	11	665	610	719	758	629	615	806	680	639	602
25/06/2013	6987	12	665	546	697	750	626	620	817	673	643	601
26/06/2013	8247	13	664	547	691	752	626	618	818	672	640	604
27/06/2013	9547	14	685	562	704	764	633	627	831	664	648	611
29/06/2013	12135	15	678	546	703	764	632	614	827	661	653	608
01/07/2013	14790	16	672	560	721	771	643	630	842	671	660	615
03/07/2013	17518	17	687	568	719	762	643	632	843	666	660	615
05/07/2013	20264	18	690	562	725	771	643	635	833	624	670	621
08/07/2013	24323	19	681	550	716	773	636	622	815	620	665	628
10/07/2013	26843	20	718	579	755	791	654	638	818	644	674	628
12/07/2013	28932	21	703	581	757	795	633	638	816	642	674	626
16/07/2013	33632	22	720	576	752	801	627	642	822	650	680	632
19/07/2013	37727	23	710	592	755	800	642	634	830	648	678	650
22/07/2013	41979	24	704	575	727	781	634	625	814	640	665	625
25/07/2013	45610	25	711	568	739	767	633	632	808	632	669	634
13/09/2013	48400	26	708	583	742	790	646	638	833	637	659	652
17/09/2013	53400	27	701	578	743	779	649	637	833	633	655	637
20/09/2013	57636	28	670	583	740	778	653	636	826	640	661	629
23/09/2013	61460	29	660	603	741	766	653	643	840	650	660	637
27/09/2013	66500	30	660	603	748	767	664	648	851	666	674	642
30/09/2013	70843	31	655	583	741	756	657	641	849	647	662	640
04/10/2013	75991	32	660	575	753	768	668	654	858	640	672	647

Tabla 5.3: Potencia LEDs 20 mA.

FECHA	TIEMPO (MIN)	RONDA	40 mA									
			LED 1	LED 2	LED 3	LED 4	LED 5	LED 6	LED 7	LED 8	LED 9	LED 10
03/06/2013	0	1	622	733	696	637	639	636	695	711	694	682
04/06/2013	314	2	610	713	703	642	617	617	629	711	690	681
05/06/2013	624	3	631	738	701	643	623	634	609	722	678	700
06/06/2013	929	4	638	736	706	656	642	650	615	730	683	707
12/06/2013	1278	5	644	748	701	658	643	657	623	735	700	709
13/06/2013	1623	6	645	758	705	665	651	656	627	739	707	708
14/06/2013	2035	7	662	754	727	671	661	665	638	751	717	717
18/06/2013	3011	8	655	752	719	671	655	654	574	742	714	713
19/06/2013	4214	9	657	781	706	684	604	657	587	745	657	722
20/06/2013	4347	10	662	783	713	680	614	666	592	711	654	641
21/06/2013	5367	11	657	756	677	698	623	690	604	704	668	655
25/06/2013	6987	12	642	766	670	668	623	680	550	653	662	641
26/06/2013	8247	13	648	778	672	664	628	686	550	650	662	653
27/06/2013	9547	14	675	800	672	668	628	701	556	659	603	641
29/06/2013	12135	15	662	800	671	643	625	644	556	663	594	641
01/07/2013	14790	16	665	803	682	650	637	650	563	672	603	652
03/07/2013	17518	17	665	813	613	653	629	635	564	669	610	655
05/07/2013	20264	18	670	815	613	671	642	645	565	669	614	660
08/07/2013	24323	19	612	808	610	609	624	640	552	672	610	649
10/07/2013	26843	20	591	728	609	650	621	632	533	654	610	640
12/07/2013	28932	21	613	747	629	647	634	648	548	647	593	634
16/07/2013	33632	22	597	751	618	632	634	636	552	652	599	640
19/07/2013	37727	23	618	755	628	637	641	639	567	658	610	662
22/07/2013	41979	24	589	740	612	625	623	629	545	655	601	649
25/07/2013	45610	25	601	745	617	643	627	633	534	655	605	639
13/09/2013	48400	26	634	756	618	648	562	645	556	679	614	597
17/09/2013	53400	27	628	746	614	640	560	643	550	664	610	584
20/09/2013	57636	28	638	751	620	648	556	640	548	657	606	582
23/09/2013	61460	29	592	736	610	641	557	643	553	673	613	586
27/09/2013	66500	30	612	751	612	639	565	653	573	687	621	596
30/09/2013	70843	31	607	741	610	623	552	638	557	669	615	591
04/10/2013	75991	32	629	747	628	640	559	649	649	649	649	649

Tabla 5.4: Potencia LEDs 40 mA.

FECHA	TIEMPO (MIN)	RONDA	LED 1	LED 2	LED 3
03/06/2013	0	1	572	726	640
05/06/2013	624	2	578	729	642
13/06/2013	1623	3	578	737	649
18/06/2013	3011	4	578	732	656
20/06/2013	4347	5	592	735	676
21/06/2013	5367	6	561	753	683
25/06/2013	6987	7	573	734	679
26/06/2013	8247	8	548	734	675
27/06/2013	9547	9	552	705	650
29/06/2013	12135	10	520	709	652
03/07/2013	17518	11	533	691	637
05/07/2013	20264	12	528	698	636
08/07/2013	24323	13	536	723	664
10/07/2013	26843	14	531	721	642
12/07/2013	28932	15	522	717	646
16/07/2013	33632	16	510	709	638
19/07/2013	37727	17	506	696	628
22/07/2013	41979	18	555	727	645
25/07/2013	45610	19	548	736	655
13/09/2013	48400	20	555	742	656
17/09/2013	53400	21	542	727	631
20/09/2013	57636	22	550	741	X
23/09/2013	61460	23	541	743	X
27/09/2013	66500	24	530	737	X
30/09/2013	70843	25	524	746	X
04/10/2013	75991	26	521	736	X

Tabla 5.5: Potencia LEDs 0 mA.

El LED número 3 sufrió una rotura de una de sus patillas después de la ronda de medida 21, por lo que el ensayo concluyó para dicho LED al no poder realizar más medidas. Las medidas de potencia óptica se representaron gráficamente como se describen en el apartado siguiente.

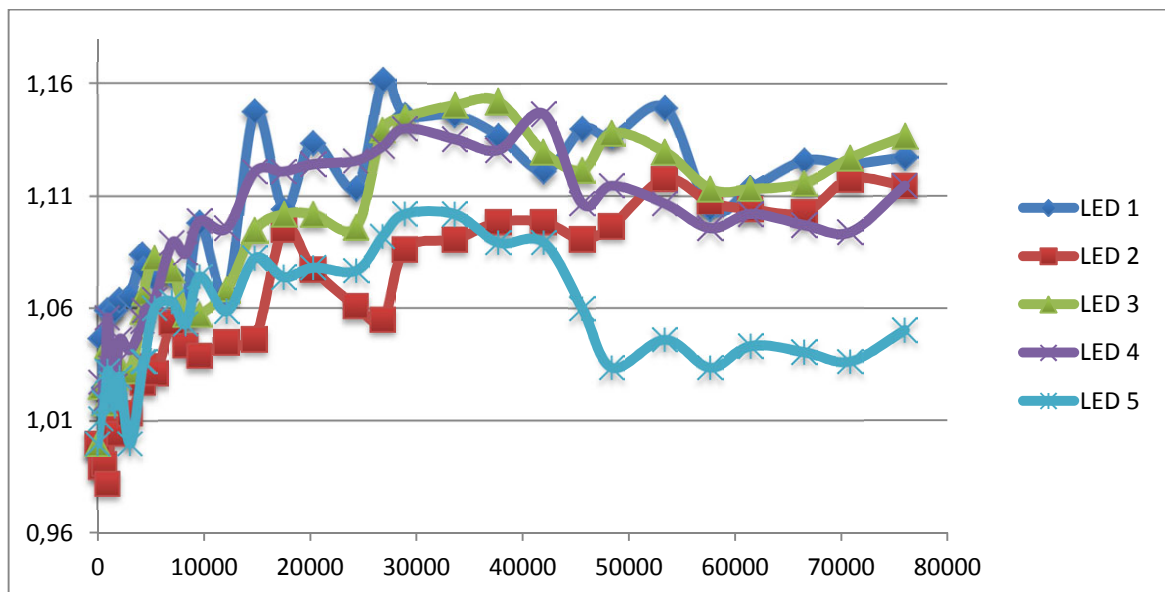
5.2.2 REPRESENTACIÓN GRAFICA

Estos valores obtenidos permiten el estudio de la evolución de los LEDs en función del tiempo (minutos) y de la potencia óptica emitida (μW). Se han representado diferentes gráficas, se muestran las más relevantes, que son:

POTENCIA RELATIVA:

Estas gráficas muestran la evolución de la potencia relativa al instante inicial sufrida por cada LED en función del tiempo de ensayo. Se van a agrupar por nivel de corriente, dividiendo la cantidad de LEDs en dos gráficas (5 en cada una), para evitar así una aglomeración de líneas y poder analizarlas de manera más clara.

➤ 10 mA



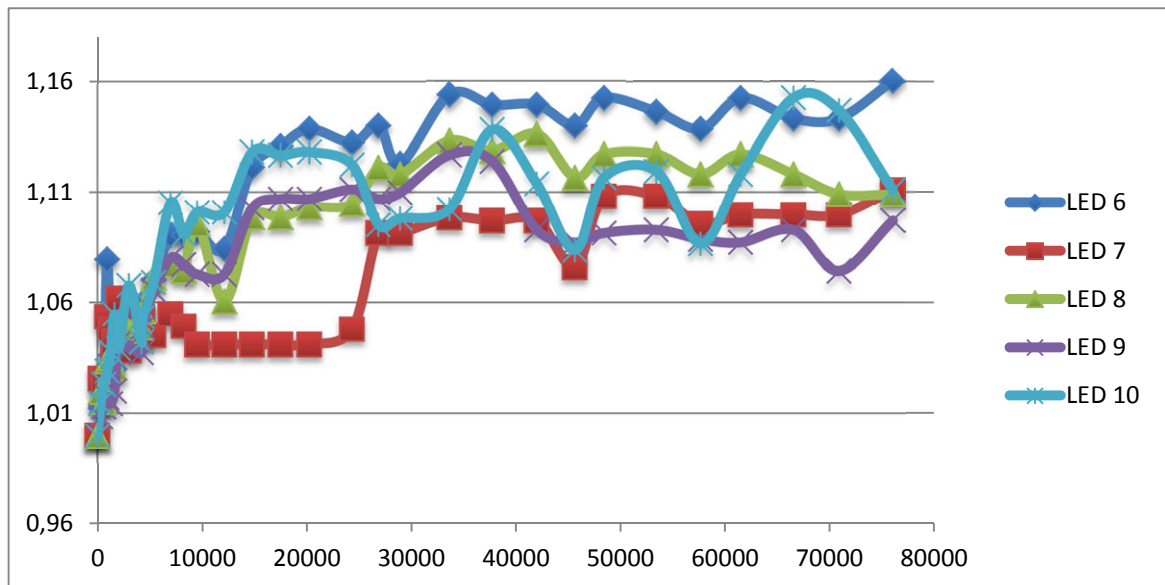


Figura 5.1: Potencia Relativa LEDs 10 mA.

Los LEDs de este nivel de corriente muestran un aumento inicial de potencia, que luego siguen manteniendo relativamente constante. Este comportamiento de aumento de la potencia óptica ha sido observado por otros autores en dispositivos LEDs. Existen fluctuaciones que pueden ser debidas a las condiciones de temperatura en las medidas u otros factores, pero la tendencia que se observa es clara.

Al final del ensayo todos los LEDs siguen manteniendo una potencia superior a la inicial. El LED que acaba el ensayo con menor variación de potencia, es el LED número 5 con un aumento del 5%, pero esto no significa que sea el LED que acaba con menor potencia; es importante no confundir mínimo de variación relativa con mínimo de potencia media. Por el contrario, el LED que acaba con mayor variación de potencia, es el número 6 con un 16 %.

➤ 20 mA

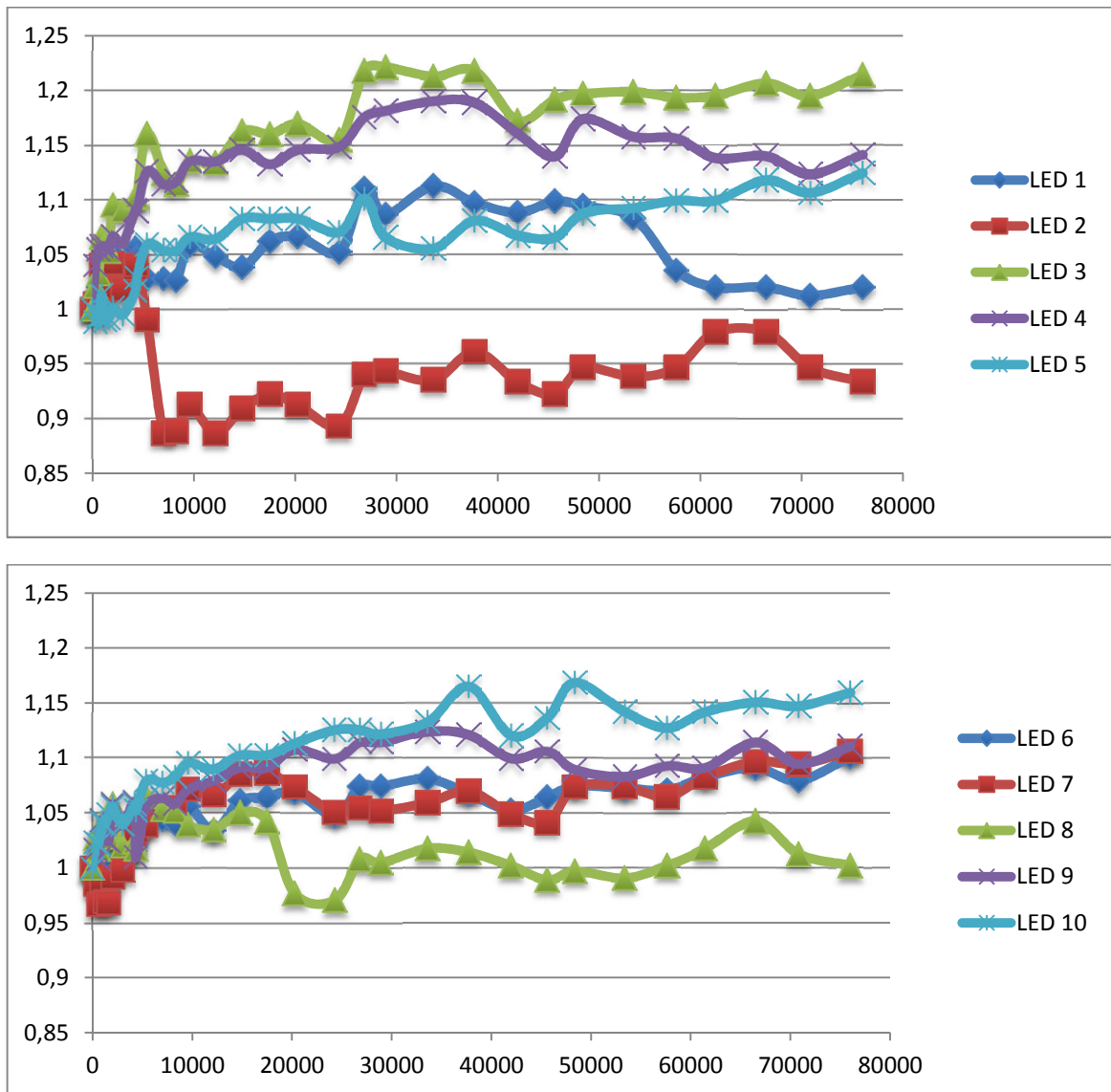


Figura 5.2: Potencia Relativa LEDs 20 mA.

En esta rama de corriente se puede observar un margen de variación más amplio que en la rama de 10 mA; al igual que en esa rama, se produce un incremento de la potencia al comienzo del ensayo, sin embargo, este incremento no lo comparten todos los LEDs como en el caso anterior. Hay algunos que siguen un crecimiento de potencia más tímido, pero también se da la variación máxima de todas las ramas de corriente. La tendencia de la potencia en esta rama de corriente es también bastante constante. Así, se puede observar:

- Los LEDs 1 y 9 finalizan el ensayo muy próximos a la potencia inicial.

- El LED número 2 presenta una disminución de potencia considerable a las 100 horas del ensayo aproximadamente. Sin embargo, este decremento de potencia se va a mantener hasta la finalización del ensayo. Termina con un decremento de potencia del 6,6%.
- Por el contrario, el LED número 3 es el que mayor evolución positiva presenta al finalizar el ensayo, con un aumento del 21,5%.

➤ 40 mA

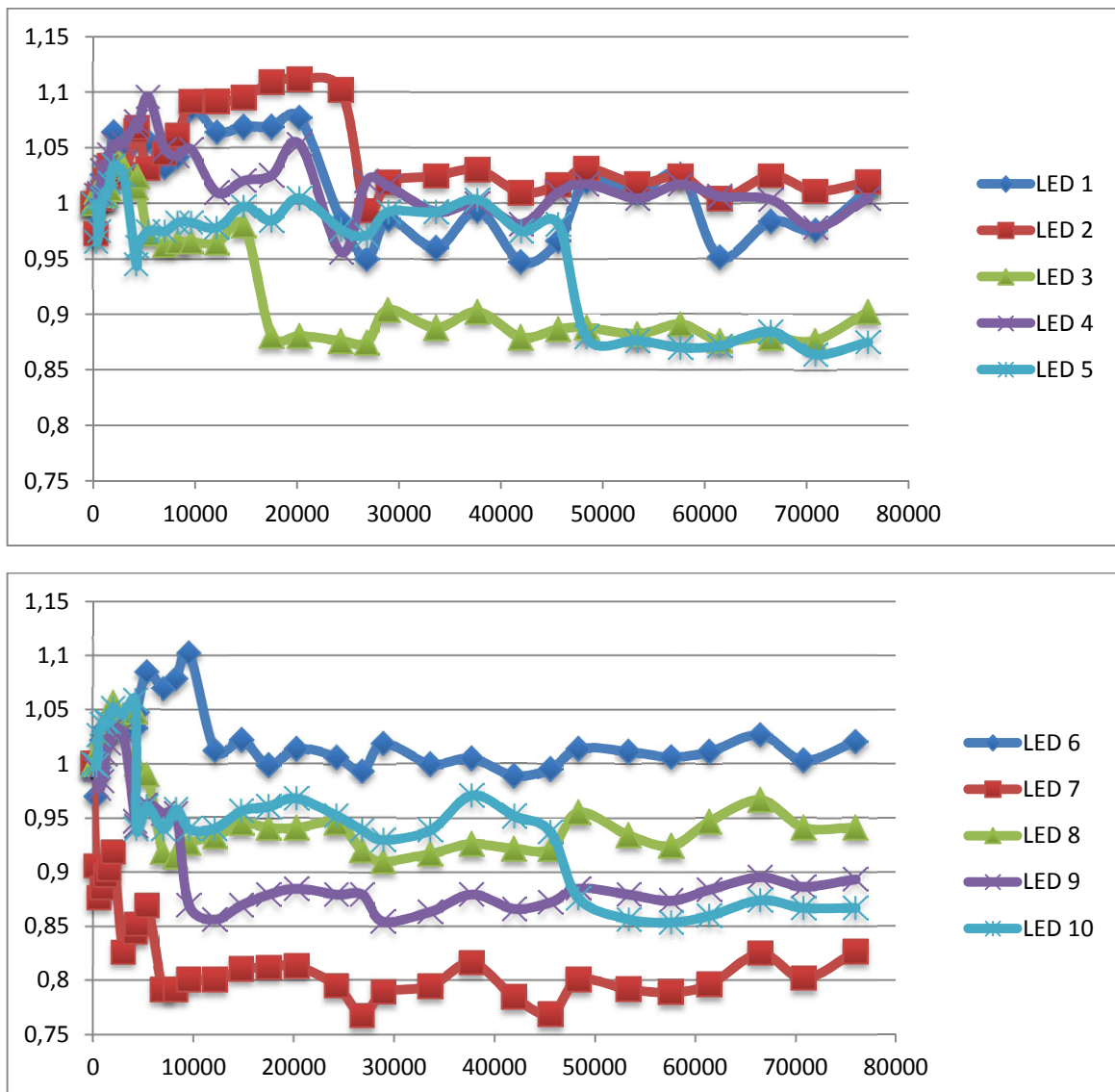


Figura 5.3: Potencia Relativa LEDs 40 mA.

Sin duda estas graficas de la rama de 40 mA muestran que son los LEDs más degradados por el ensayo. Tan solo 4 de ellos superan, aunque mínimamente,

la potencia inicial. Los 6 restantes finalizan el ensayo con un decremento de potencia.

El mayor aumento de potencia lo presenta el LED número 6, con un aumento del 2%. Por el contrario, el LED más dañado es el número 7, con un decremento final de potencia del 17,5%. Decir que este LED ha sido el que más cerca ha estado de fallar del ensayo; en algunas medidas su potencia llegó a bajar hasta el 24%. De haber disminuido un 30% (0,70) o más, se habría considerado fallo del componente y descartado del ensayo.

Potencia Relativa Final	10 mA		20 mA		40 mA	
	LED 5	LED 6	LED 2	LED 3	LED 7	LED 6
	1,050 2	1,160 4	0,933 4	1,214 5	0,825 9	1,020 4

Tabla 5.6: Tabla de valores finales máximos y mínimos de Potencia óptica relativa.

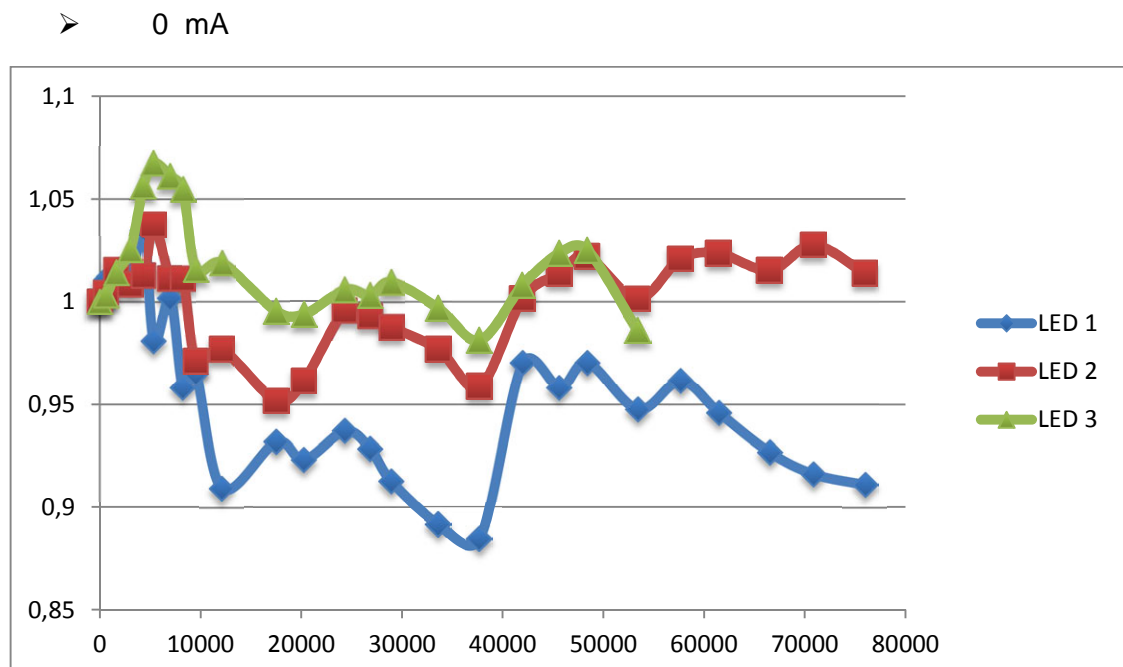


Figura 5.4: Potencia Relativa LEDs 0 mA.

La variación de los LEDs de 0 mA es bastante pequeña; acaban con valores muy cercanos a la potencia inicial. El LED que sufre más variación a lo largo del tiempo, es el número 1; se puede apreciar una progresiva disminución de potencia a lo largo del experimento; sin embargo, justo en la mitad del ensayo, muestra una importante recuperación de su potencia (subida que también se puede apreciar en los otros dos LEDs, pero de manera más leve), después de la cual, seguirá su tendencia decreciente.

Como el LED 3 finaliza prematuramente el ensayo, los LEDs que más varían su potencia, son el 1 y el 2.

MÁXIMA Y MÍNIMA VARIACIÓN:

Estas gráficas muestran la evolución de los LEDs que más y menos han cambiado al final del ensayo respecto a su comienzo. Estos son todos aquellos que se han ido mencionando de las gráficas anteriores. Sin embargo, en estas gráficas se muestra dicha evolución de potencia en unidades de μW .

➤ 0 mA

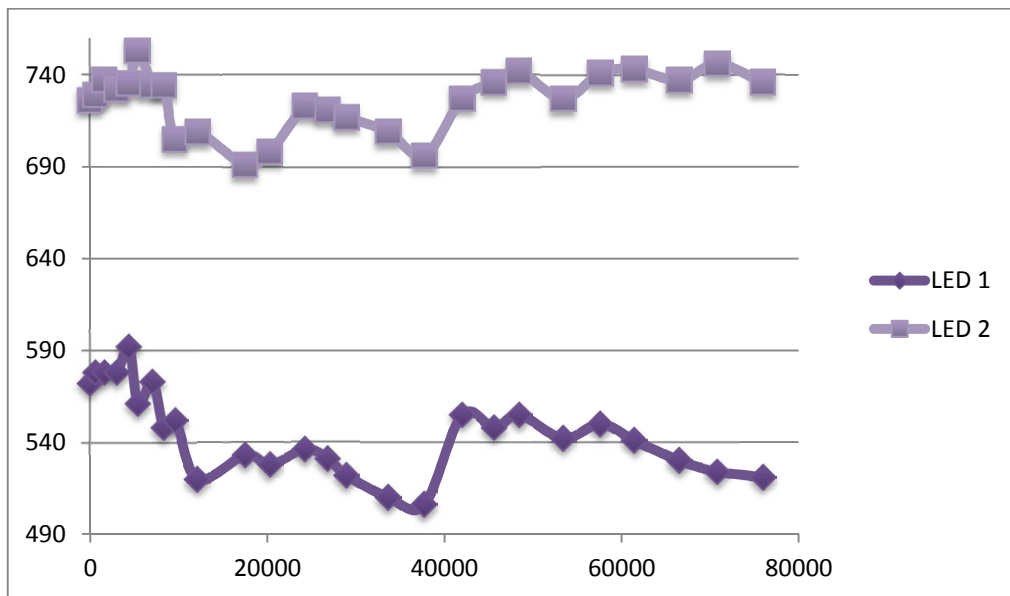


Figura 5.5: Variación Max. y Min. De potencia. 0 mA.

➤ 10 mA

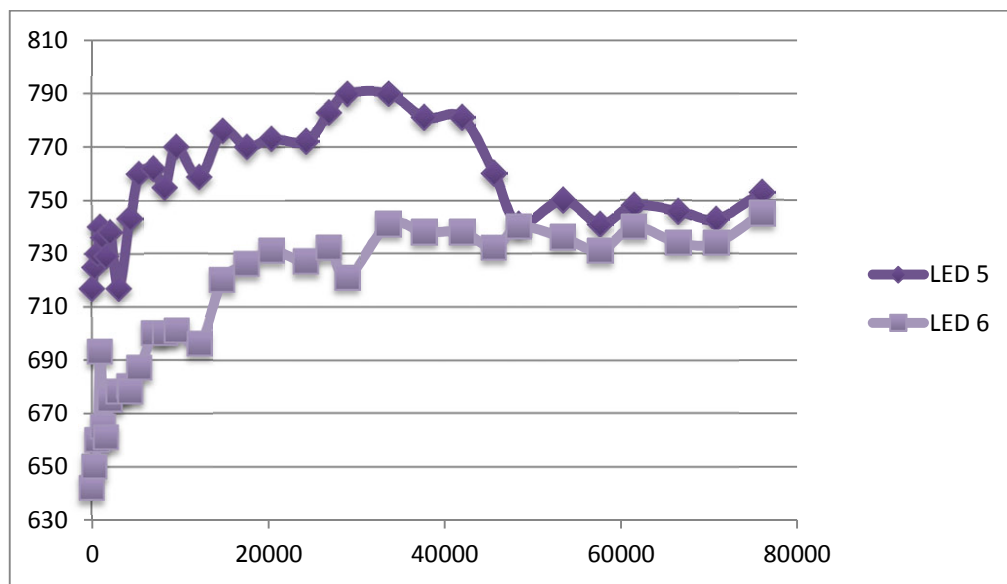


Figura 5.6: Variación Max. y Min. De potencia. 10 mA.

➤ 20 mA

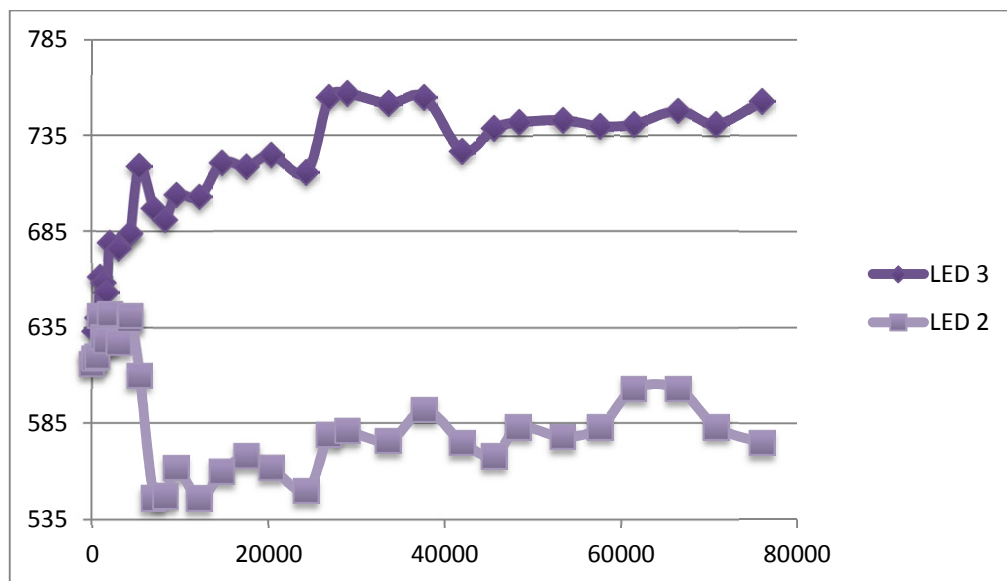


Figura 5.7: Variación Max. y Min. De potencia. 20 mA.

➤ 40 mA

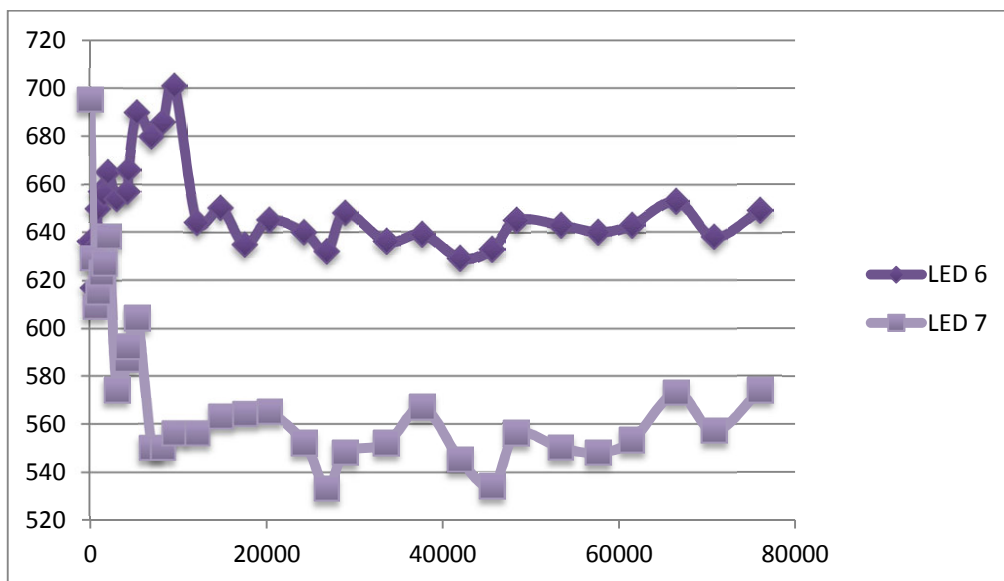


Figura 5.8: Variación Max. y Min. De potencia. 40 mA.

La gráfica de la rama de 10 mA es la que muestra menos diferencia entre sus dos LEDs más dispares. Acaban con mayor potencia y una diferencia entre ellos del 10%. En esta misma diferencia se encuentran el resto de LEDs de la rama.

En el resto de gráficas sí que se observa una mayor diferencia, pero con trayectorias muy similares, sin contar los cambios bruscos que experimenta alguno de los LEDs.

POTENCIA MEDIA:

A continuación se muestra la gráfica de la potencia media relativa de cada tira de LEDs, para apreciar de manera resumida la evolución conjunta que han llevado a lo largo del ensayo.

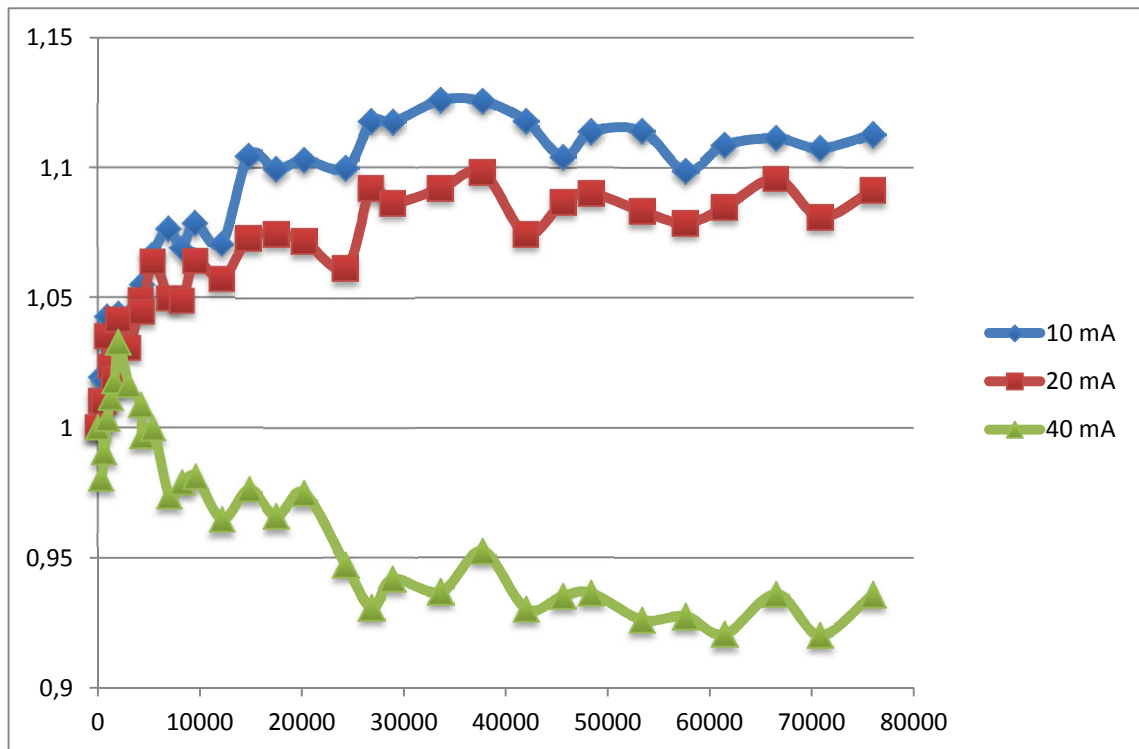


Figura 5.9: Potencia relativa media de cada rama de corriente.

Como se puede apreciar, la tira de LEDs de 40 mA es la única que ha disminuido su potencia relativa media, es decir, la media de potencia de la última medida realizada, da un resultado inferior a la potencia media inicial.

Como conclusión, se puede decir que, habiendo estado sometidos a las mismas condiciones ambientales, la rama de corriente de 40 mA es la que más ha acusado un desgaste de potencia, por lo que se puede afirmar que el factor degradante que más ha influido es el estrés por corriente; en este caso ha sido el doble de la corriente nominal de trabajo de los LEDs.

Las otras dos tiras de LEDs también pueden guiarse por dicha afirmación; la rama de 10 mA, al tener un estrés por corriente menor, presenta una potencia media superior a la rama de 20 mA.

En las ramas de 10 y 20 mA se puede intuir una progresión estable, durante un cierto tiempo, hasta que comienzan a decaer. Se observa que la potencia de la tira de 20 mA es inferior a lo largo de todo el ensayo, lo que sugiere que se degrada en mayor medida que la tira de 10 mA.

MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE POTENCIA:

A partir de la gráfica anterior se va a mostrar la evolución de potencia de los LEDs que mayor y menor potencia han sumado a lo largo de todo el ensayo. Se pretende ofrecer otro punto de vista al análisis de los resultados obtenidos.

La tira de 0 mA no merece representarla, ya que solo hay dos LEDs que han acabado el ensayo, que ya se han representado anteriormente.

➤ 10 mA

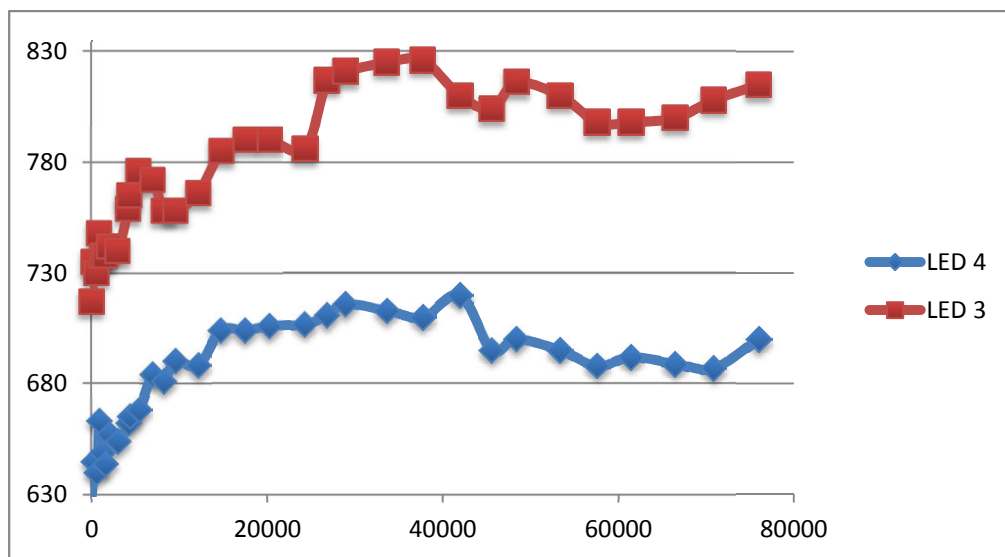


Figura 5.10: Max y Min de Potencia Final. 10 mA

Se corresponden con los LEDs de potencias más dispares, tanto al comienzo, como al final del ensayo. Aun así, se puede observar una evolución muy similar a lo largo del tiempo.

➤ 20 mA

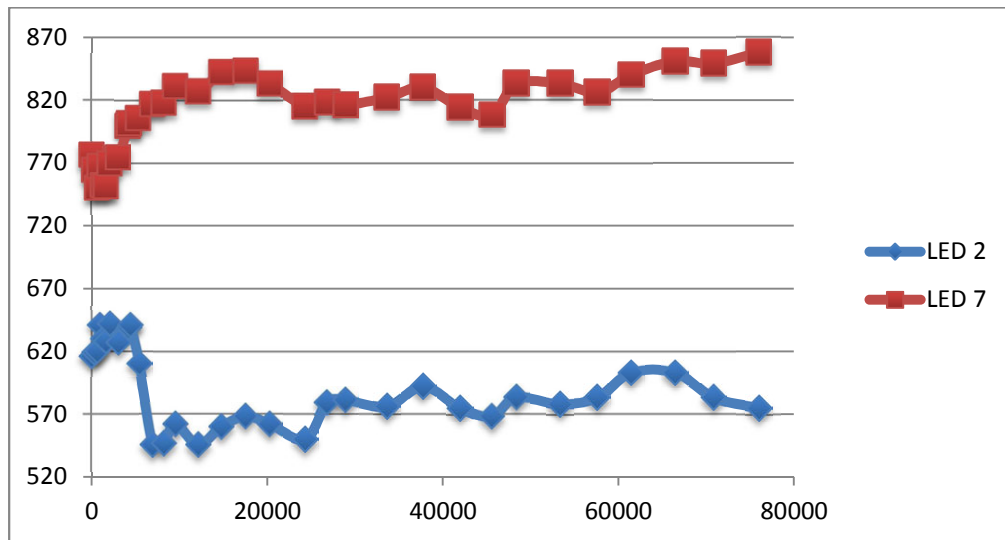


Figura 5.11: Max y Min de Potencia Final. 20 mA

Existe una gran diferencia de potencia entre estos dos LEDs a lo largo de todo el ensayo; la diferencia final es de 280 μ W.

Al inicio no existía tanta diferencia; sin embargo, en los primeros días de ensayo se produjo una disminución acentuada de la potencia del LED número 2. A partir de este decremento de potencia, ambos han llevado una progresión muy similar.

➤ 40 mA

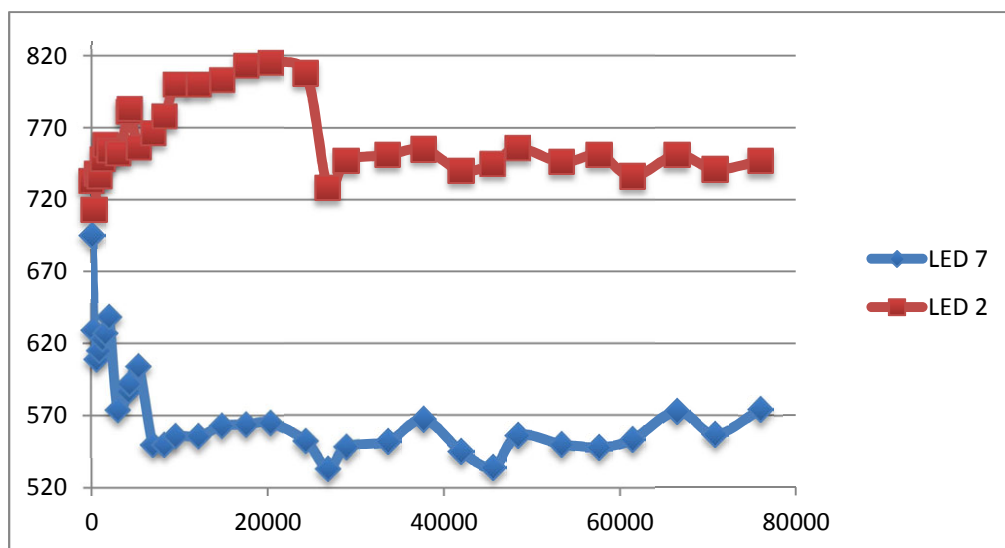


Figura 5.12: Max y Min de Potencia Final. 40 mA

En este último caso se observa también una considerable diferencia entre los dos. El LED número 7 sufre varias caídas de potencia en los primeros días del ensayo, después de las cuales sigue una progresión similar al resto de LEDs.

El LED número 2 también tiene una caída muy significativa, aunque posterior, concretamente a las 450 horas desde el comienzo del ensayo. Exceptuando estos decrementos puntuales, los LEDs siguen una progresión bastante constante.

5.3 ESPECTRO

En este apartado de medidas se van a comparar varios espectros de los LEDs que presentan una mayor y una menor variación de potencia relativa a lo largo del ensayo. Para conocer esta información es necesario basarse en los resultados analizados en el apartado anterior, los obtenidos con el equipo de medición óptica.

Para analizar el espectro de cada LED es necesario, como en el caso anterior, limitar la corriente de salida de la fuente de alimentación a 20 mA en cada tira.

5.3.1 RESULTADOS

El software del espectrómetro permite guardar la información obtenida del espectro en ficheros de texto. La información original tenía forma de tabla, pero aparece en el fichero de manera consecutiva, separando las columnas mediante comas.

```
@mightex_spectrum_save,2,1,0
20/06/2013 15:31:51
HRS-BD1-025
08-121010-003
100
0
3648
700
1.16788860098382E+0003
-2.49304034748403E-0001
-2.76697263044151E-0006
1.72474790705289E-0010
4.52211010788090E+0003
-3.79486768661422E+0000
-1.51570743718027E-0005
-4.33620552910569E-0008
uWcmnm
PixelNo,wavelength,ccd_1,ccd_2,ccd_3,calib_1,calib_2,calib_3,DarkSub_1,DarkSub_2,DarkSub_3,%T/R_1
0, 1.16788860098382E+0003, 3.13333333333321E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
1, 1.1673929418227E+0003, 1.10666666666666E+0001, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
2, 1.16738998184781E+0003, 8.30000000000018E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
3, 1.16714066398148E+0003, 1.00000000000000E-0003, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
4, 1.16689134038430E+0003, 8.0333333333330E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
5, 1.16664201165732E+0003, 1.44666666666667E+0001, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
6, 1.16639267720157E+0003, 1.00000000000000E-0003, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
7, 1.16614333721808E+0003, 2.9333333333339E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
8, 1.16589399170789E+0003, 2.76666666666688E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
9, 1.16564464067204E+0003, 7.16666666666652E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
10, 1.16539528411153E+0003, 3.23333333333312E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
11, 1.16514592202746E+0003, 5.30000000000018E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
12, 1.16489655442082E+0003, 1.74000000000001E+0001, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
13, 1.16464718129264E+0003, 5.46666666666670E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
14, 1.16439780264398E+0003, 7.13333333333321E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
15, 1.16414841847583E+0003, 2.40000000000009E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
16, 1.16389902878931E+0003, 7.46666666666670E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
17, 1.16364963358538E+0003, 1.00000000000000E-0003, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
18, 1.16340023286509E+0003, 9.4333333333339E+0000, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
19, 1.16315082662949E+0003, 1.37333333333331E+0001, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
20, 1.16290141487960E+0003, 1.0333333333334E+0001, 0.00000000000000E+0000, 0.00000000000000E+0000,
...
```

Figura 5.13: Fichero de texto con información del espectro.

Es posible importar estos ficheros de texto con Excel y así poder ver de manera más eficiente la información de cada archivo.

@mightex_spectrum_save	2	1	0
20/06/2013 15:32			
HRS-BD1-025			
08-121010-003			
100			
0			
3648			
700			
1,17E+17			
-2,49E+13			
-2,77E+08			
1,72E+04			
4,52E+17			
-3,79E+14			
-1,52E+09			
-4,34E+06			
uWcmnm			
PixelNo	Wavelength	CCD_1	CCD_2
0	1,17E+17	2,57E+14	0.00000000000000E+0000
1	1,17E+17	8,40E+14	0.00000000000000E+0000
2	1,17E+17	8,67E+14	0.00000000000000E+0000
3	1,17E+17	1,00E+11	0.00000000000000E+0000
4	1,17E+17	1,00E+11	0.00000000000000E+0000
5	1,17E+17	6,83E+14	0.00000000000000E+0000
6	1,17E+17	3,03E+14	0.00000000000000E+0000
7	1,17E+17	1,00E+11	0.00000000000000E+0000
8	1,17E+17	3,07E+14	0.00000000000000E+0000
9	1,17E+17	1,15E+15	0.00000000000000E+0000
10	1,17E+17	3,83E+14	0.00000000000000E+0000
11	1,17E+17	1,00E+11	0.00000000000000E+0000
12	1,16E+17	6,00E+14	0.00000000000000E+0000

Figura 5.14: Importación del fichero de texto a Excel.

Se va a realizar la integral del área de la curva que describe el espectro, para lo cual solo vamos a necesitar la información del espectro comprendido entre 550 y 725 nm.

Una vez seleccionados los valores de ese rango de longitud de onda se procede al diseño de las gráficas.

5.3.2 REPRESENTACIÓN GRAFICA

Se van a analizar los espectros de los LEDs con mayor y menor variación de potencia relativa. Para ello se va a seleccionar el espectro de la ronda inicial, un espectro intermedio en el tiempo de ensayo y el último espectro medido.

También se calculan las áreas de cada espectro representado.

➤ 0 mA – LED 1 (MIN)

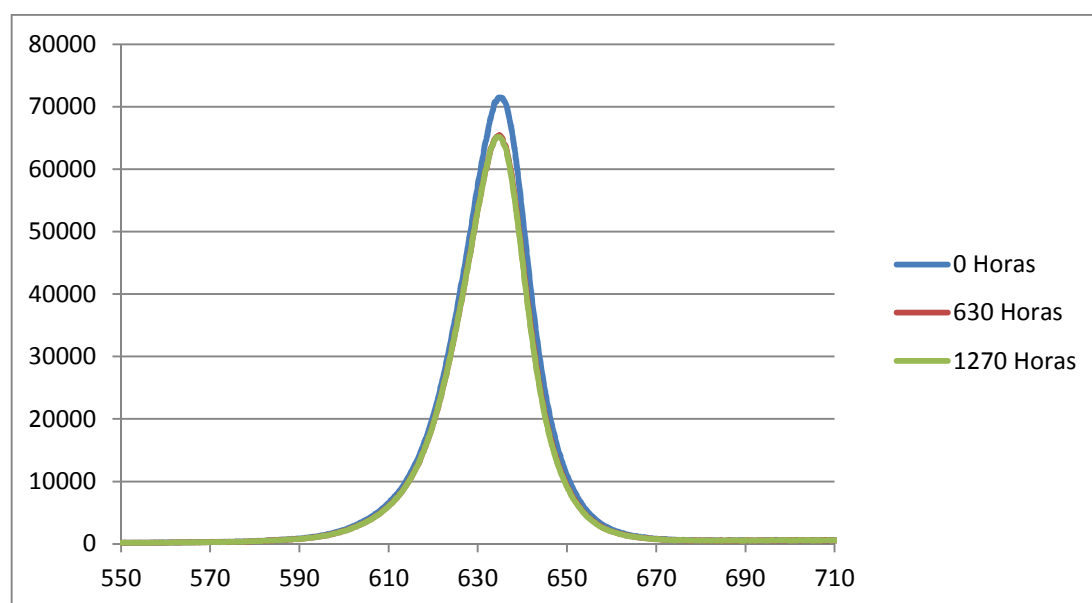


Figura 5.15: Evolución del Espectro. LED 1 – 0 mA.

Evolución del área:

0 Horas: 6132363,361

630 Horas: 5.553.707,621

1270 Horas: 5.524.448,196

➤ 0 mA – LED 2 (MAX)

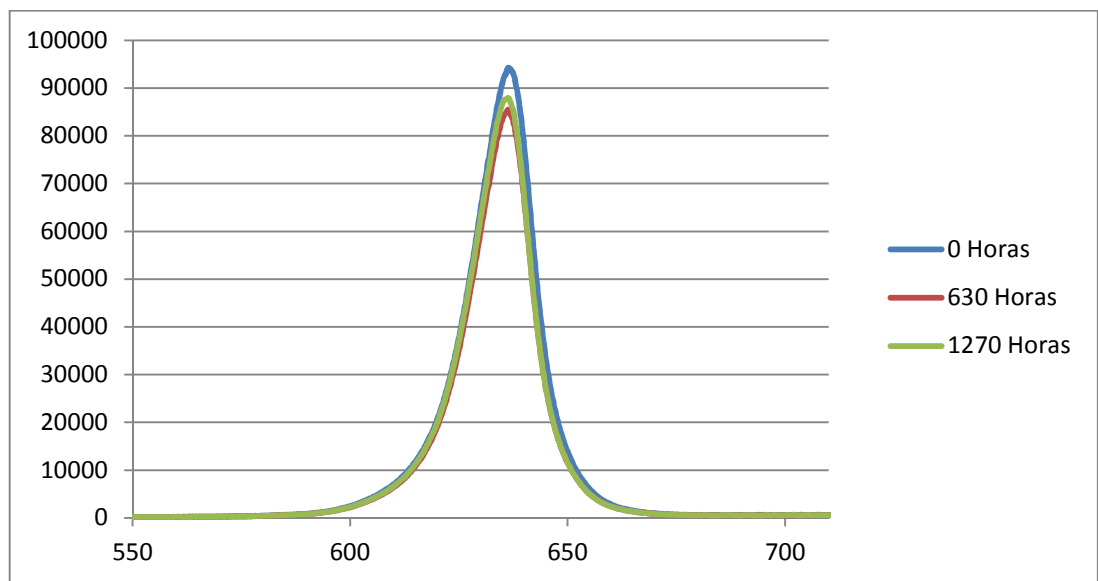


Figura 5.16: Evolución del Espectro. LED 2 – 0 mA.

Evolución del área:

0 Horas: 7.446.203,104

630 Horas: 6.676.417,785

1270 Horas: 6.864.849,71

En ambas gráficas de los LEDs de 0 mA se observa una disminución de la amplitud del espectro. En el diodo número 1, esta disminución es mayor, lo que coincide con los resultados obtenidos con el medidor de potencia. La progresión de este diodo es decreciente a lo largo del tiempo.

El LED número 2 presenta una disminución de amplitud en la primera parte del ensayo, en la segunda se ve una tendencia a la recuperación.

➤ 10 mA – LED 5 (MIN)

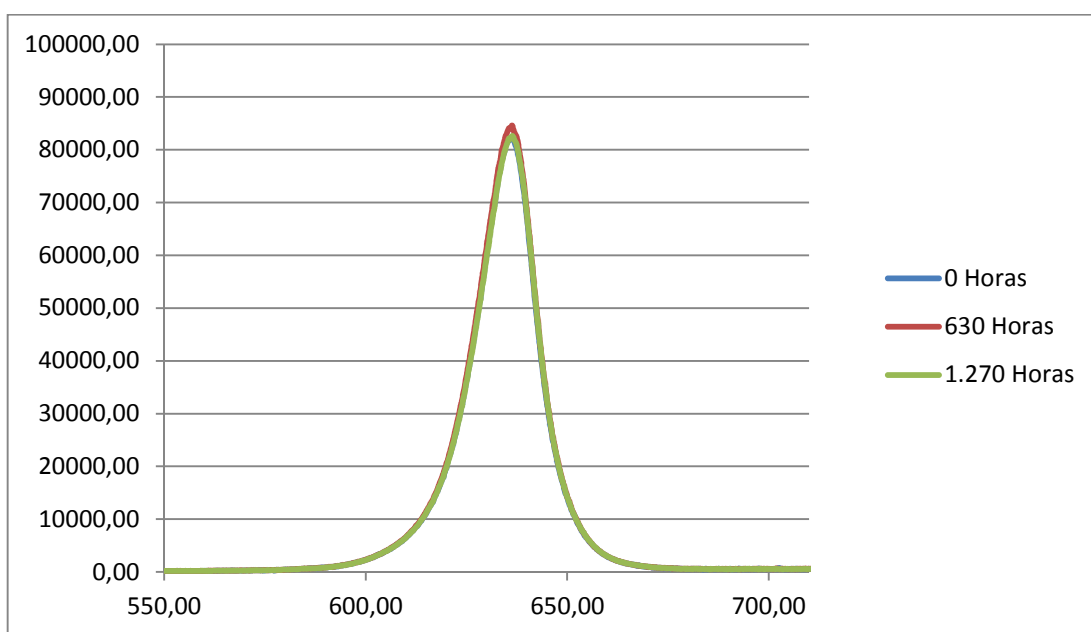


Figura 5.17: Evolución del Espectro. LED 5 – 10 mA.

Evolución del área:

0 Horas: 6.856.332,63

630 Horas: 7.021.421,23

1270 Horas: 6.872.807,90

En la gráfica expuesta apenas se puede observar la diferencia de espectro entre las tres medidas. Se observa que el pico de amplitud más elevado es el de la curva del espectro medido a la mitad del ensayo.

Analizando la gráfica y el cálculo de las áreas, se está de acuerdo en que la evolución de la gráfica de potencia del apartado anterior, del medidor óptico, coincide con esta; en la primera mitad del ensayo la potencia crecía moderadamente, después de la mitad (posterior a la medida de 630 horas) sufre un decremento de potencia importante, y al final del ensayo la potencia volvía a ser similar a la inicial.

➤ 10 mA – LED 6 (MAX)

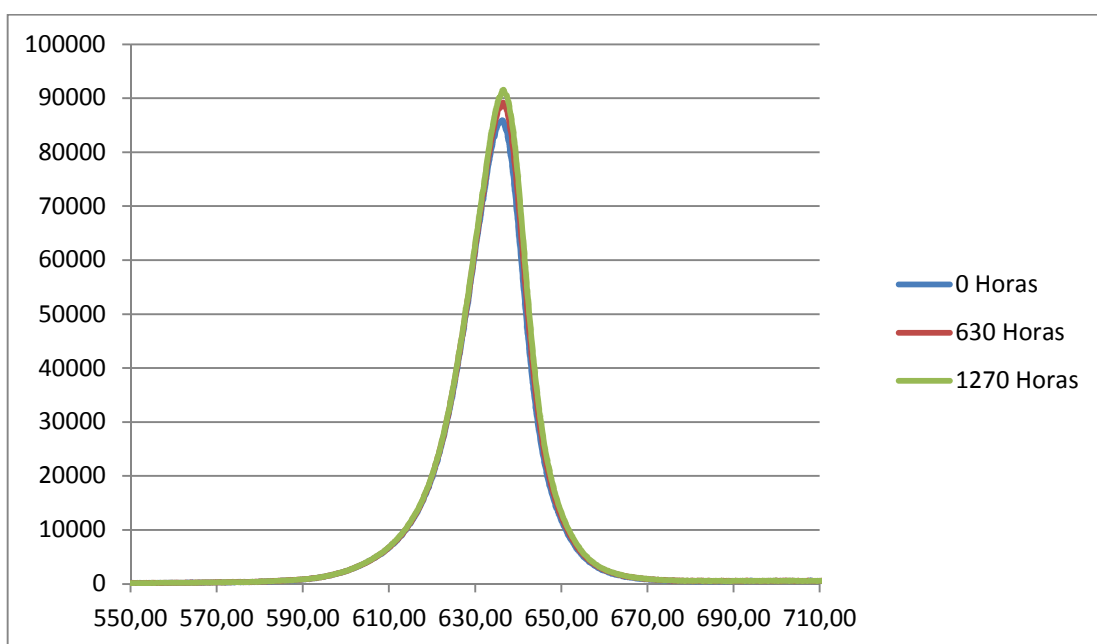


Figura 5.18: Evolución del Espectro. LED 6 – 10 mA.

Evolución del área:

0 Horas: 6.766.699,24

630 Horas: 7.021.701,58

1270 Horas: 7.212.003,03

Se puede observar que existe una pequeña variación de una medida a otra. Según la gráfica, el orden creciente de potencia coincide con el orden de las medidas, es decir, la menor potencia correspondería a la medida realizada al principio, luego, a la realizada a la mitad y por último, la medida realizada al final del ensayo.

Con esa explicación gráfica, que se corresponde con el cálculo de las áreas, vemos que también coincide con el razonamiento hecho en el apartado anterior sobre este LED. La gráfica de la potencia del medidor óptico presenta un crecimiento moderado y continuado de la potencia a lo largo del ensayo.

➤ 20 mA – LED 2 (MIN)

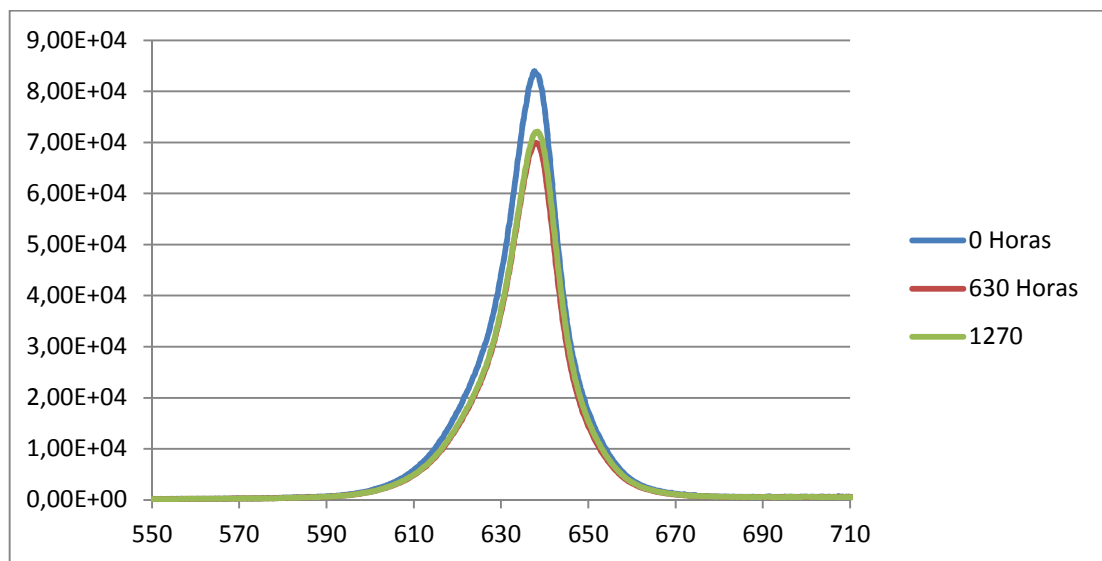


Figura 5.19: Evolución del Espectro. LED 2 – 20 mA.

Evolución del área:

0 Horas: 6.516.316,89

630 Horas: 5.468.386,63

1270 Horas: 5.660.989,33

Al ser el LED de esta rama que presenta la mínima variación de potencia, es lógico observar en la gráfica ese resultado.

De la medida inicial a la intermedia se observa una caída importante de amplitud. En la segunda parte del ensayo la amplitud se estabiliza y mejora tímidamente.

La tendencia observada coincide con el valor de las áreas y con los resultados del medidor de potencia óptica.

➤ 20 mA – LED 3 (MAX)

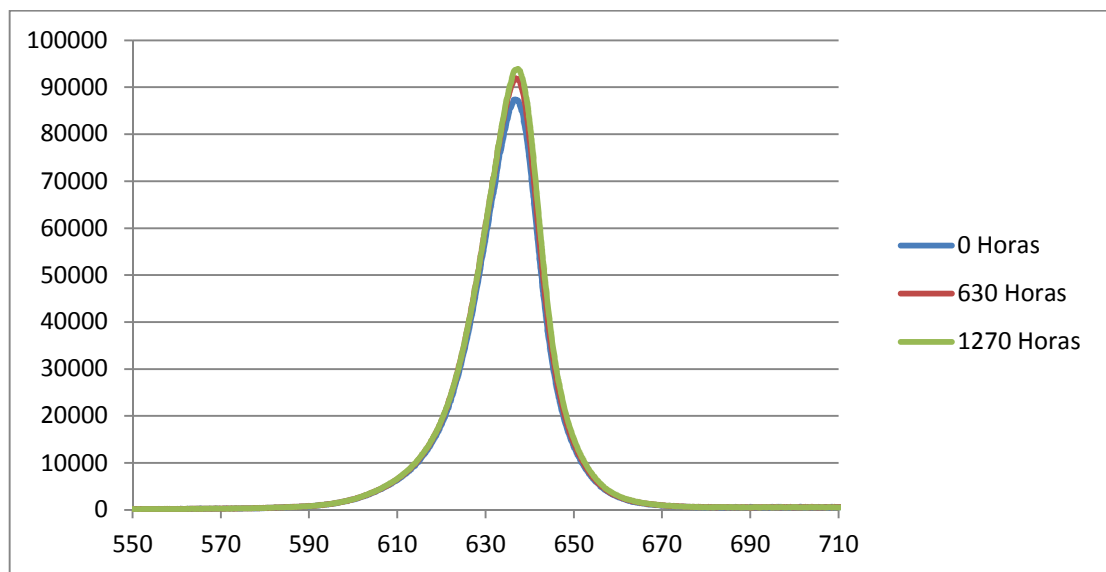


Figura 5.20: Evolución del Espectro. LED 3 – 20 mA.

Evolución del área:

0 Horas: 6.862.390,426

630 Horas: 7.215.484,897

1270 Horas: 7.384.283,447

Al contrario que con el LED anterior, este es el que presenta la máxima variación de potencia (positiva), observándose cómo crece la amplitud del espectro a lo largo del tiempo de ensayo.

No existe gran diferencia entre las amplitudes de las tres medidas; el incremento más grande se produce en la primera parte del ensayo. La medida intermedia y la final son casi idénticas, aunque un poco superior la final.

➤ 40 mA – LED 6 (MAX)

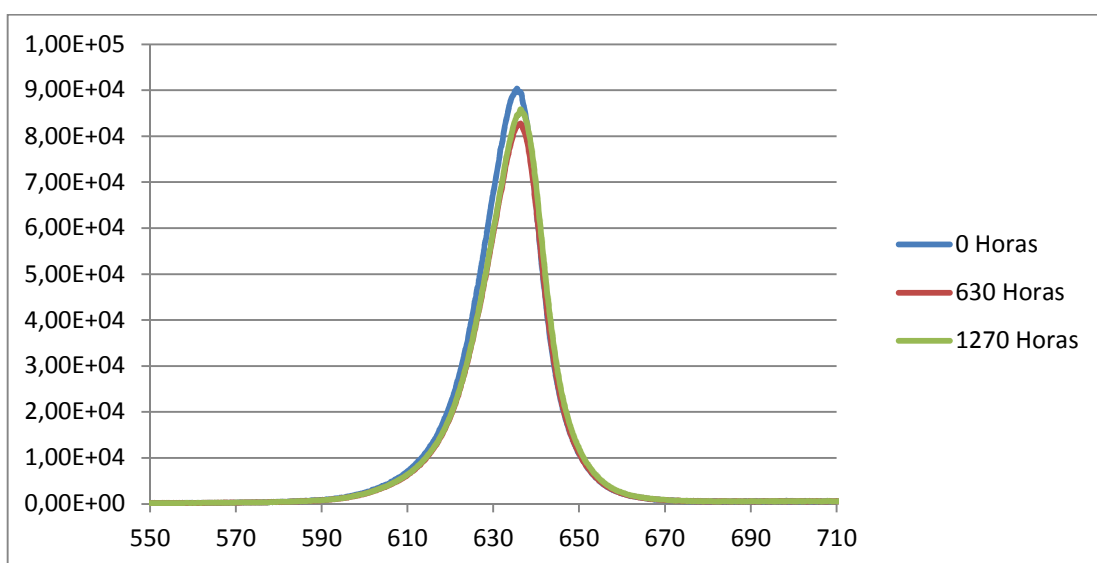


Figura 5.21: Evolución del Espectro. LED 6 – 40 mA.

Evolución del área:

0 Horas: 7.051.994,257

630 Horas: 6.507.254,141

1270 Horas: 6.751.489,991

Aunque es un LED de máxima variación, se aprecia que ha empeorado su amplitud con el paso del tiempo.

Al igual que en otras medidas analizadas, la curva de la medida intermedia presenta un nivel inferior de amplitud a la curva de la medida final, lo que indica que se ha recuperado ligeramente en la segunda parte del ensayo.

Aún así, la curva de la medida final presenta una amplitud menor que la inicial y también hay que destacar que está ligeramente desplazada hacia la derecha en el eje de la longitud de onda. Ha aumentado el valor de longitud de onda hacia el valor de amplitud de pico del espectro.

En los casos anteriores no había sucedido tal hecho, y viendo el cambio de coordenadas de los parámetros CIE de cromaticidad, se puede apreciar una ligera desviación de la tonalidad del color rojo del LED hacia un tono más claro (rosado), aunque es una variación muy pequeña; ello coincide con la afirmación realizada de degradación que ha sufrido el LED a lo largo del ensayo.

➤ 40 mA – LED 7 (MIN)

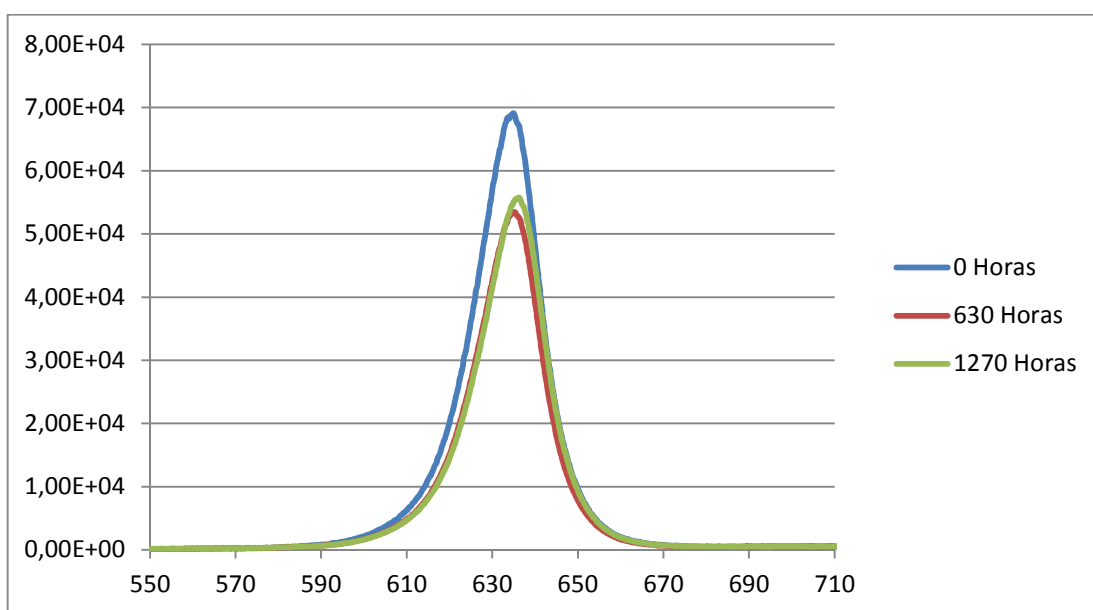


Figura 5.22: Evolución del Espectro. LED 7 – 40 mA.

Evolución del área:

0 Horas: 5.826.715,559

630 Horas: 4.555.038,24

1270 Horas: 4.753.133,671

Se observa un comportamiento espectral similar al analizado del LED anterior.

En este caso se observa una diferencia de amplitud mayor, tiene sentido al ser el LED de la tira de 40 mA que más ha disminuido su potencia relativa. La diferencia más grande de amplitud se halla entre la primera medida y la realizada a mitad del ensayo. La última presenta una ligera recuperación de amplitud.

Como en el caso anterior, existe un desplazamiento de la curva del espectro en la longitud de onda. Como se ha dicho, esto es un indicativo de degradación; el LED presenta un tono de luz más claro (débil); aunque la diferencia sigue siendo muy pequeña, se puede apreciar un desplazamiento mayor, lo que aumenta la afirmación de que es el LED de esta rama el que más se ha degradado.

5.4 CURVAS I/V INTERIOR

Las curvas I/V se realizan en el interior de la cámara, posteriores al ciclo de degradación por corriente, es decir, por cada ciclo de degradación existe una ronda de medida.

Cada ronda de medida contiene la información obtenida por 19 canales de la tarjeta de adquisición de datos. De los 19 canales, 18 contienen las medidas de curvas I/V de los 6 primeros LEDs de las tiras de 10, 20 y 40 mA. El otro canal, mide la temperatura recogida por la sonda en el interior de la cámara.

Destáquese que no se realiza este tipo de medidas para los diodos de la rama de 0 mA, puesto que no se degradan por corriente ni tienen conexión con la tarjeta de adquisición de datos.

Son las medidas más abundantes, en total existen 310 rondas de medida realizadas a lo largo del PFC. La variación de resultados que existe de una a otra es inexistente o minúscula, por lo que para su representación gráfica se utilizan pocos resultados, pero espaciados en el tiempo para poder observar su evolución.

5.4.1 RESULTADOS

Los resultados de estas medidas se guardan en ficheros de texto, uno por cada medida y canal. El nombre de estos archivos contiene información del canal, del número de ronda y de la fecha, ya que al haber tantas medidas, resultaría muy complicado identificar a cuál corresponde cada uno.

Cada fichero de texto contiene una cabecera con información del programa y de los parámetros principales de configuración. Después, los valores de corriente y tensión recogidos. Los valores de corriente son fijos; son los que se configuran en el programa para la construcción de las curvas I/V.

```

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
PROYECTO ENSAYO RESISTENCIA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS EN CÁMARAS CLIMÁTICAS

Nombre del ensayo: prueba
Nombre del fichero de configuracion real: Config_date-12_04_2013 13%11%41
Nombre del fichero de configuracion cargado ultimo: C:\resultados v0\configuracion\

Numero Ronda Medida: 203
Tiempo de Stress: 360(min)
Tiempo de espera: 5(min)

Canal: 5
Fecha: 18/07/2013
Hora: 6:45

Medida a realizar:
Tension

Unidades de medida
I      V
3,0000000E-3  1,8258172E+0
5,0000000E-3  1,8647417E+0
8,0000000E-3  1,9293690E+0
11,0000000E-3 1,9903841E+0
14,0000000E-3 2,0322323E+0
17,0000000E-3 2,0765796E+0
20,0000000E-3 2,1217732E+0
23,0000000E-3 2,1571681E+0
26,0000000E-3 2,1954005E+0
29,0000000E-3 2,2349305E+0
32,0000000E-3 2,2677538E+0
35,0000000E-3 2,3031940E+0

```

Figura 5.23: Fichero de Resultados Curvas I/V internas (.txt).

Además de los ficheros de texto, también se genera un archivo de tipo Excel (.xls), que recoge los valores de tensión medidos en cada ronda a la corriente nominal de los LEDs, (20 mA). Se genera un solo archivo por cada ejecución de programa, es decir, si en una sola ejecución se han realizado 10 rondas de medida, este documento mostrará, en orden, el valor obtenido en cada una, por cada canal de medida.

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID								
PROYECTO ENSAYO RESISTENCIA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS EN CÁMARAS CLIMÁTICAS								
Nombre del ensayo: prueba								
Nombre del fichero de configuracion real: Config_date-12_04_2013 13%11%41								
Nombre del fichero de configuracion cargado ultimo: C:\resultados v0\configuracion\								
Numero Ronda Medida: 198								
Tiempo de Stress: 360(min)								
Tiempo de espera: 5(min)								
Fecha: 16/07/2013								
Hora: 23:51								
Channel_1	Channel_2	Channel_3	Channel_4	Channel_5	Channel_6	Channel_7	Channel_8	Channel_9
Tension_(V)	Tension_(V)	Tension_(V)	Tension_(V)	Tension_(V)	Tension_(V)	Tension_(V)	Tension_(V)	Tension_(V)
2,00E+00	2,01E+00	1,99E+00	2,03E+00	2,12E+00	1,98E+00	1,98E+00	1,94E+00	2,04E+00
2,00E+00	2,01E+00	1,99E+00	2,03E+00	2,12E+00	1,98E+00	1,98E+00	1,94E+00	2,04E+00
2,01E+00	2,01E+00	1,99E+00	2,04E+00	2,13E+00	1,98E+00	1,98E+00	1,95E+00	2,04E+00
2,00E+00	2,01E+00	1,99E+00	2,03E+00	2,12E+00	1,98E+00	1,98E+00	1,95E+00	2,04E+00
2,00E+00	2,01E+00	1,99E+00	2,03E+00	2,12E+00	1,98E+00	1,98E+00	1,94E+00	2,04E+00
2,00E+00	2,01E+00	1,99E+00	2,03E+00	2,12E+00	1,98E+00	1,98E+00	1,94E+00	2,03E+00
2,01E+00	2,01E+00	1,99E+00	2,03E+00	2,12E+00	1,98E+00	1,98E+00	1,95E+00	2,04E+00
2,01E+00	2,02E+00	2,00E+00	2,04E+00	2,12E+00	1,99E+00	1,98E+00	1,95E+00	2,04E+00
2,01E+00	2,02E+00	2,00E+00	2,04E+00	2,13E+00	1,99E+00	1,98E+00	1,95E+00	2,04E+00
2,01E+00	2,02E+00	2,00E+00	2,03E+00	2,13E+00	1,99E+00	1,99E+00	1,95E+00	2,04E+00
2,01E+00	2,02E+00	1,99E+00	2,03E+00	2,12E+00	1,98E+00	1,98E+00	1,95E+00	2,04E+00

Figura 5.24: Fichero de Resultados Curvas I/V internas (.xls).

Estos resultados sirven de resumen de las medidas por cada ejecución del programa. En este ejemplo se puede observar que la variación entre las medidas es prácticamente nula; aunque hayan pasado más de 6 horas entre cada medida, apenas varían 10 mV.

5.4.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA

A continuación se van a representar las curvas I/V; habrá 3 curvas por cada LED (inicial, intermedia y final), los cuales, como en las medidas de espectro, serán aquellos de cada rama de corriente que mayor y menor variación presenten al final del ensayo, a excepción del LED número 7 de la rama de 40 mA; estas medidas solo se realizan sobre los 6 primeros LED de cada rama, luego tenemos que escoger el que tenga menos variación de esos 6; es el número 5, con una potencia final de 87,5%.

Como se ha comentado, no ha sido posible realizar medidas para la tira de LEDs de 0 mA, así que no tendrá presencia en este apartado.

➤ 10 mA – LED 5 (MIN)

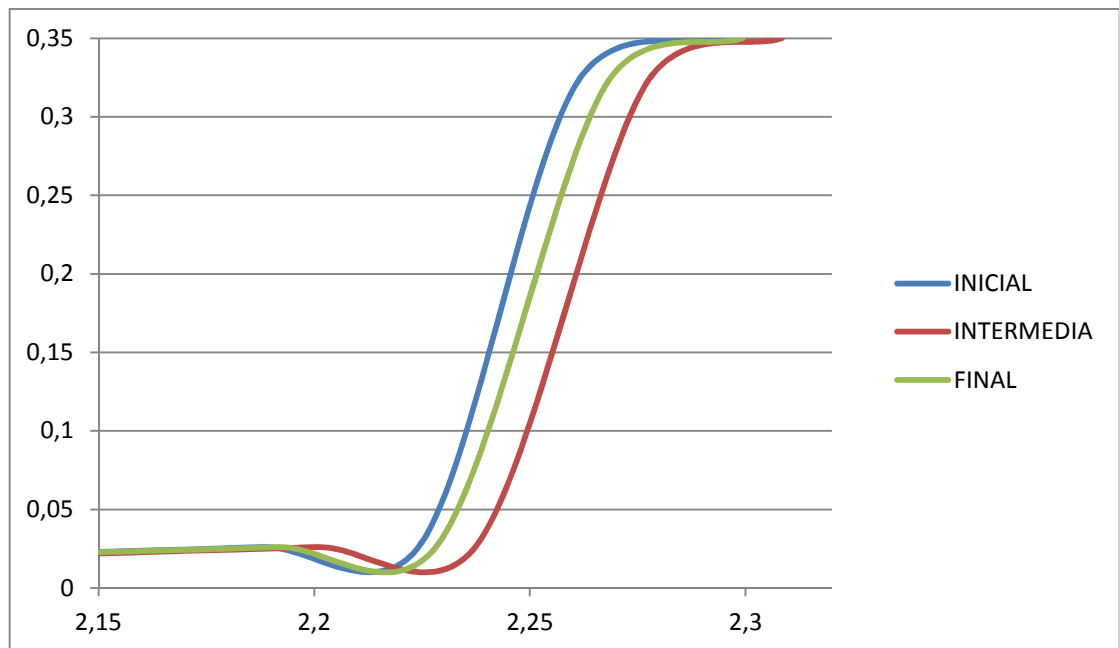


Figura 5.25: Curva I/V Interna. LED 5 – 10 mA.

Existe un desplazamiento horizontal entre las curvas representadas, lo que se traduce en una variación de potencia. Si una curva se desplaza lateralmente hacia la derecha, supone un aumento de la tensión, o lo que es lo mismo, un incremento de potencia.

Como se puede observar, la medida que presenta menos potencia (la que está más a la izquierda) es la medida realizada inicialmente. La siguiente medida representada en el tiempo, la intermedia, presenta un desplazamiento considerable respecto a la primera, lo que implica un aumento importante de la potencia.

Por último, la curva de la medida final se encuentra entre las otras dos medidas, lo que significa que ha finalizado con mayor potencia que con la que empezó, pero que en la segunda parte del tiempo de ensayo, esta, ha disminuido.

Comparando esta gráfica y su análisis con los análogos de las medidas anteriores, se puede afirmar que todas muestran el mismo comportamiento para este LED.

➤ 10 mA – LED 6 (MAX)

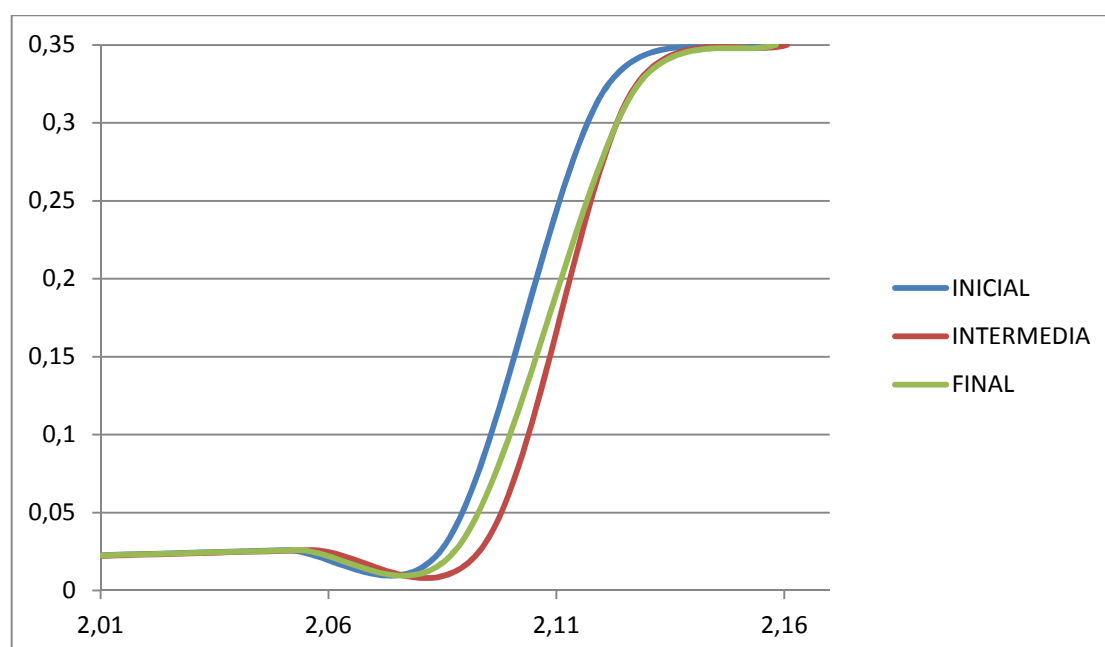


Figura 5.26: Curva I/V Interna. LED 6 – 10 mA.

Este LED presenta una evolución muy similar al anterior. La medida intermedia presenta una mayor potencia que la inicial, mientras que la final empeora un poco. La curva final presenta una disminución de potencia para corrientes bajas respecto a la curva intermedia; a corrientes altas se iguala con ella. Coincide con las conclusiones extraídas de los análisis anteriores.

➤ 20 mA – LED 2 (MIN)

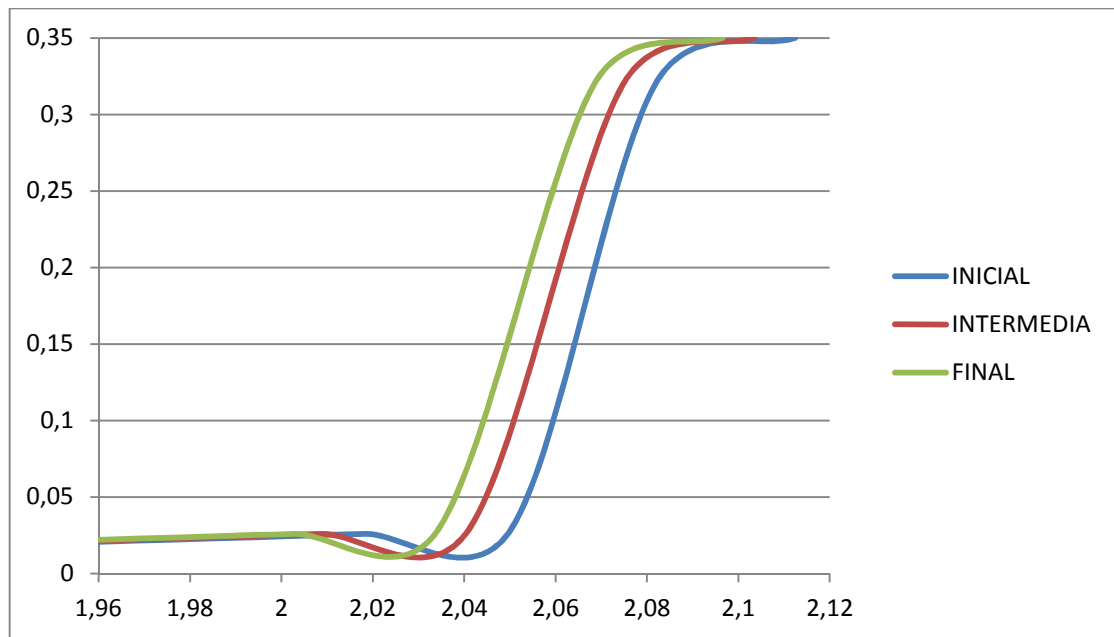


Figura 5.27: Curva I/V Interna. LED 2 – 20 mA.

En este caso se observa una evolución contraria a las anteriores; el LED pierde potencia a medida que transcurre el tiempo de ensayo, es decir, las curvas de las medidas posteriores a la inicial se van desplazando lateralmente, pero en este caso lo hacen hacia la izquierda. La trayectoria global es decreciente; la medida inicial es la de mayor potencia y la final, la de menor potencia.

También coincide con las conclusiones extraídas de los análisis anteriores. Además, es el LED de la tira de 20 mA con menor variación de potencia final.

➤ 20 mA – LED 3 (MAX)

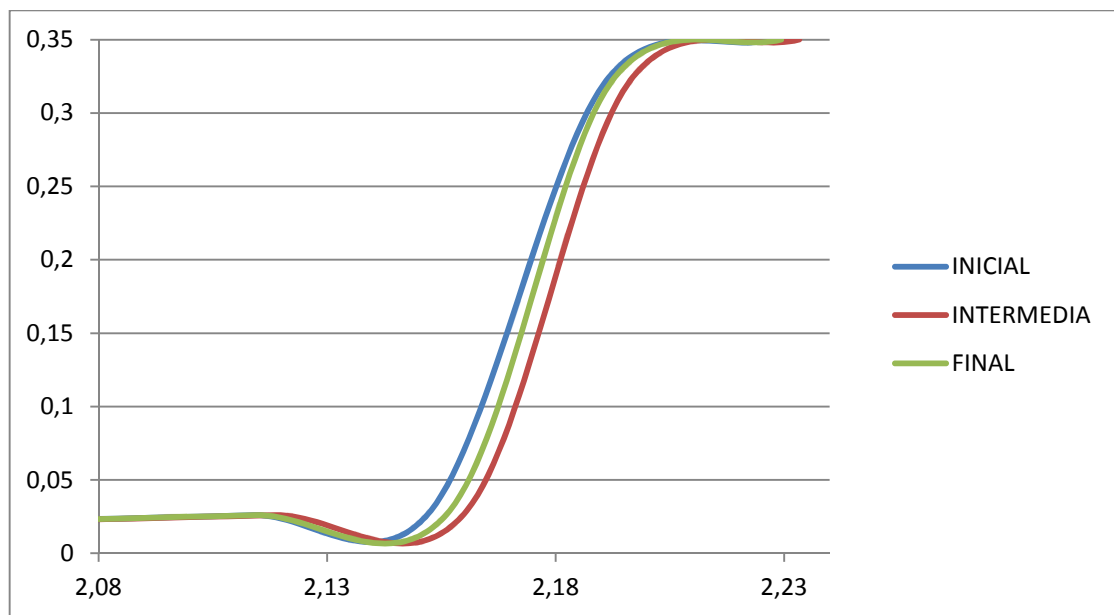


Figura 5.28: Curva I/V Interna. LED 3 – 20 mA.

Al contrario que el LED anterior, este es el que presenta la mayor variación de potencia al finalizar el ensayo, y en este caso acaba con un incremento positivo de variación.

Se observa un aumento de la potencia en la primera parte del tiempo de ensayo, mientras que en la segunda ocurre lo contrario. Las curvas de las medidas intermedia y final son paralelas entre sí; sin embargo, respecto a la inicial, presentan un aumento mayor de la potencia para corrientes bajas.

➤ 40 mA – LED 5 (MIN)

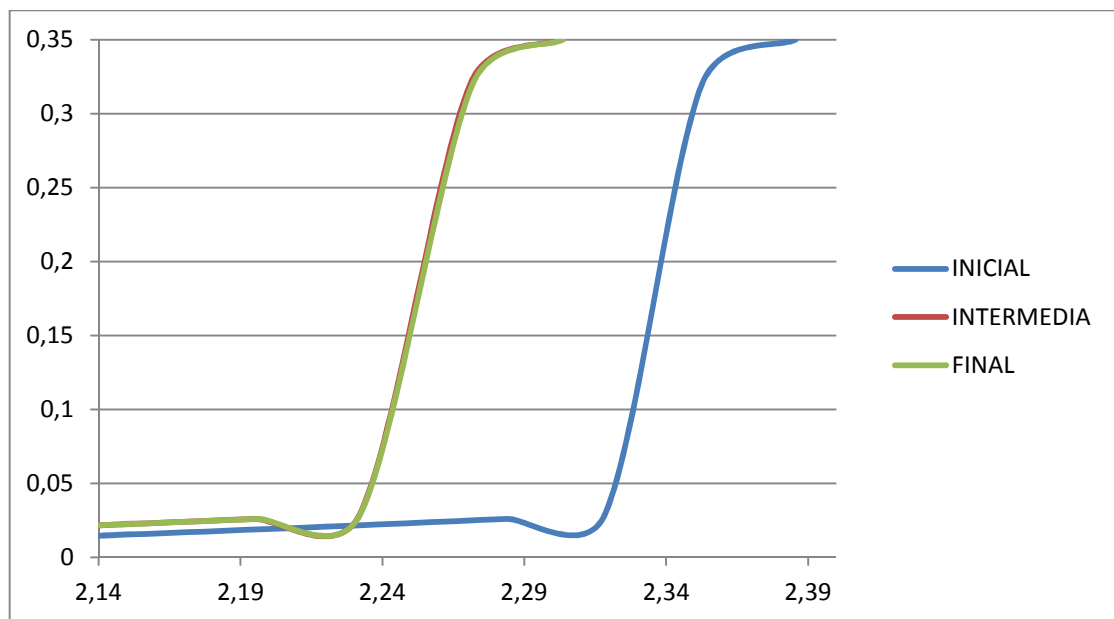


Figura 5.29: Curva I/V Interna. LED 5 – 40 mA.

Es el LED de la tira de 40 mA que acaba el ensayo con menor potencia.

En la gráfica se puede observar la gran diferencia que existe entre la primera medida respecto a la intermedia y la final, que en este caso se encuentran solapadas una encima de la otra. En la primera parte del tiempo de ensayo se produce una disminución muy grande de la potencia. Una vez realizada la medida intermedia, esta variación ya es estable y apenas varía en toda la segunda parte de tiempo.

Según los datos obtenidos de las medidas anteriores, este sería el segundo peor LED de todos los ensayados, dato que se refleja también en estas medidas. Se dice que es el segundo peor porque el peor es el LED número 7, pero sobre él no se han realizado estas medidas; sin embargo, la evolución de uno y otro son muy similares.

➤ 40 mA – LED 6 (MAX)

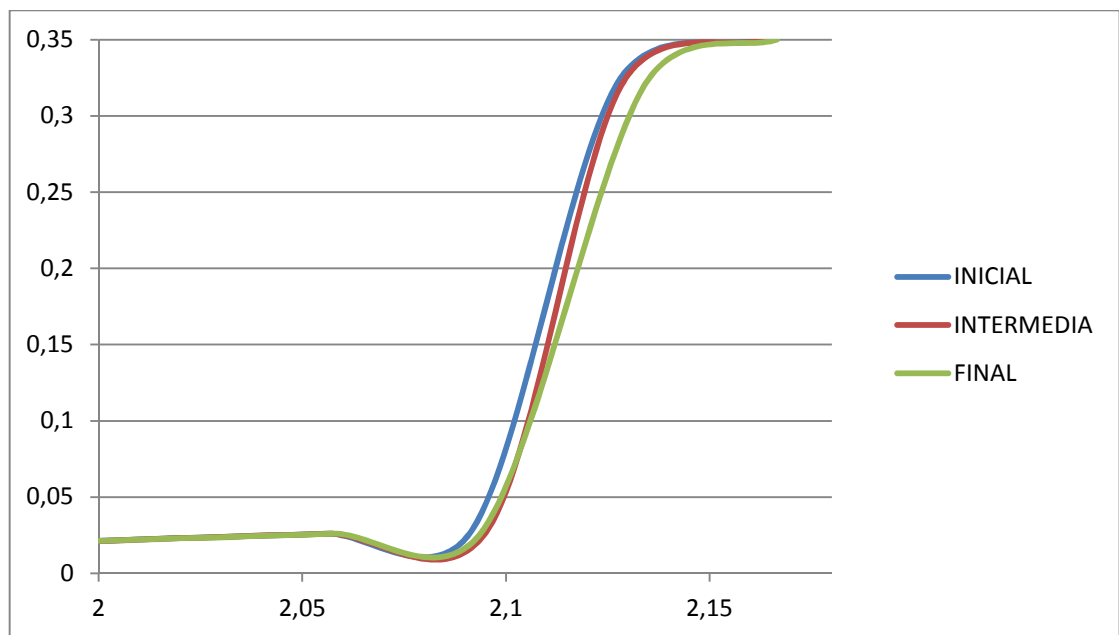


Figura 5.30: Curva I/V Interna. LED 6 – 40 mA.

Este último LED presenta una leve mejoría de potencia con el tiempo. Viendo la gráfica se puede afirmar que termina el ensayo con un incremento de potencia, aunque en las medidas anteriores, es casi inapreciable.

Es el único LED, de entre los analizados para este tipo de medidas, que presenta un aumento de la potencia a altas corrientes, entre la medida intermedia y la final. En los casos anteriores había sucedido esto, pero para bajas corrientes.

Este tipo de medidas ha permitido estudiar la evolución de la potencia de los LEDs a lo largo del tiempo, en función de su comportamiento eléctrico.

5.5 CURVAS I/V EXTERIOR

Las curvas I/V que se realizan en el exterior, se hacen a temperatura ambiente ($25 \pm 0,5^\circ \text{C}$) para cada uno de los LEDs que intervienen en el ensayo.

Estas medidas son las más lentas de realizar y no sufren apenas variación entre las rondas de medida, por lo que han espaciado en el tiempo para una frecuencia de una ronda de medida por semana.

Tienen más información que las curvas que se realizan en el interior. En concreto, 64 puntos, repartidos en 3,2 V con incrementos de 50mV.

Para analizar estas medidas se va a seguir el mismo procedimiento que en apartados anteriores; se tomarán las medidas de los LEDs de mayor y menor variación en cada rama de corriente, y 3 curvas de medida, inicial, intermedia y final.

5.5.1 RESULTADOS

Los resultados de estas medidas se guardan en ficheros de texto, uno por cada LED. El nombre de los archivos contiene el número de LED y de ronda, y la fecha.

Cada fichero contiene un encabezamiento de tres líneas, que son las que se han escrito en el programa para dar una descripción resumida. Después, los valores de tensión e intensidad recogidos. En este caso, los valores programados y fijos son los de tensión.

```
UPM. PFC_IVAN LED ROJOS 85°C 85% HR
DE 0.05 A 3,2V CON SALTOS DE 0.050 V
TEMPERATURA_DISPOSITIVO 2.487640E+1
V
5.0000E-2 2.6483312E-7
1.0000E-1 5.1771252E-7
1.5000E-1 7.7122521E-7
2.0000E-1 1.0273003E-6
2.5000E-1 1.2829338E-6
3.0000E-1 1.5381207E-6
3.5000E-1 1.7921428E-6
4.0000E-1 2.0469756E-6
4.5000E-1 2.3027851E-6
5.0000E-1 2.5564749E-6
5.5000E-1 2.8119343E-6
6.0000E-1 3.0669137E-6
6.5000E-1 3.3232054E-6
7.0000E-1 3.5785743E-6
7.5000E-1 3.8332782E-6
8.0000E-1 4.0896597E-6
8.5000E-1 4.3436877E-6
9.0000E-1 4.5972684E-6
9.5000E-1 4.8542469E-6
1.0000E+0 5.1075946E-6
1.0500E+0 5.3630886E-6
1.1000E+0 5.6161769E-6
1.1500E+0 5.8727782E-6
1.2000E+0 6.1281000E-6
1.2500E+0 6.3847357E-6
1.3000E+0 6.6395202E-6
1.3500E+0 6.9011178E-6
1.4000E+0 7.1716972E-6
1.4500E+0 7.4497800E-6
1.5000E+0 7.8656533E-6
1.5500E+0 8.5904052E-6
1.6000E+0 1.0597415E-5
1.6500E+0 1.7512770E-5
... ..
```

Figura 5.31: Fichero de Resultados Curvas I/V externas (.txt).

5.5.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA

A continuación se van a representar las curvas I/V, habrá 3 curvas por cada LED (inicial, intermedia y final), los cuales como en las medidas de espectro, serán aquellos de cada rama de corriente que mayor y menor variación presenten al final del ensayo.

➤ 0 mA – LED 1

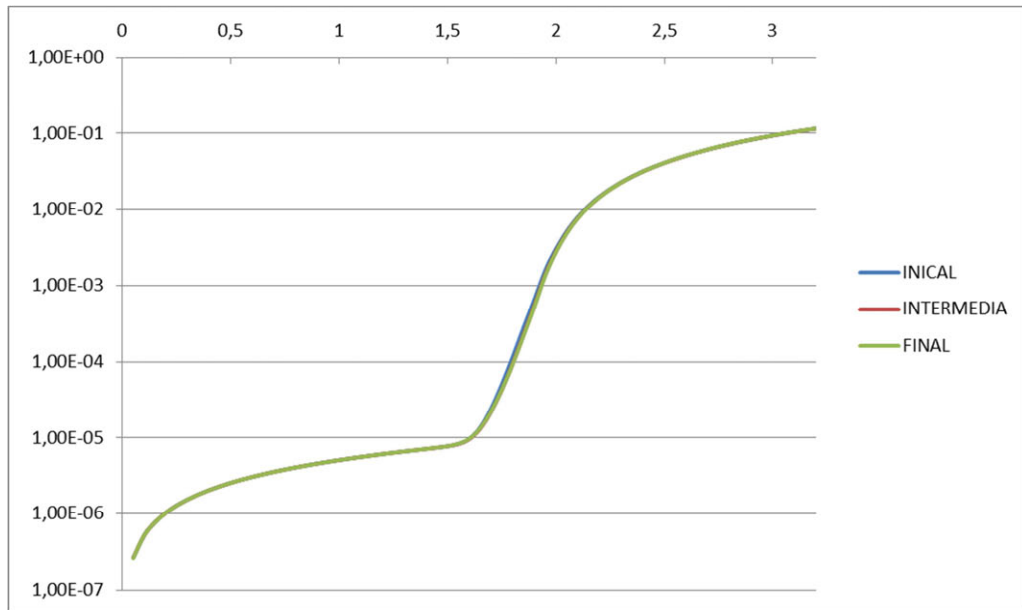


Figura 5.32: Curva I/V Externa. LED 1 – 0 mA.

➤ 0 mA – LED 2

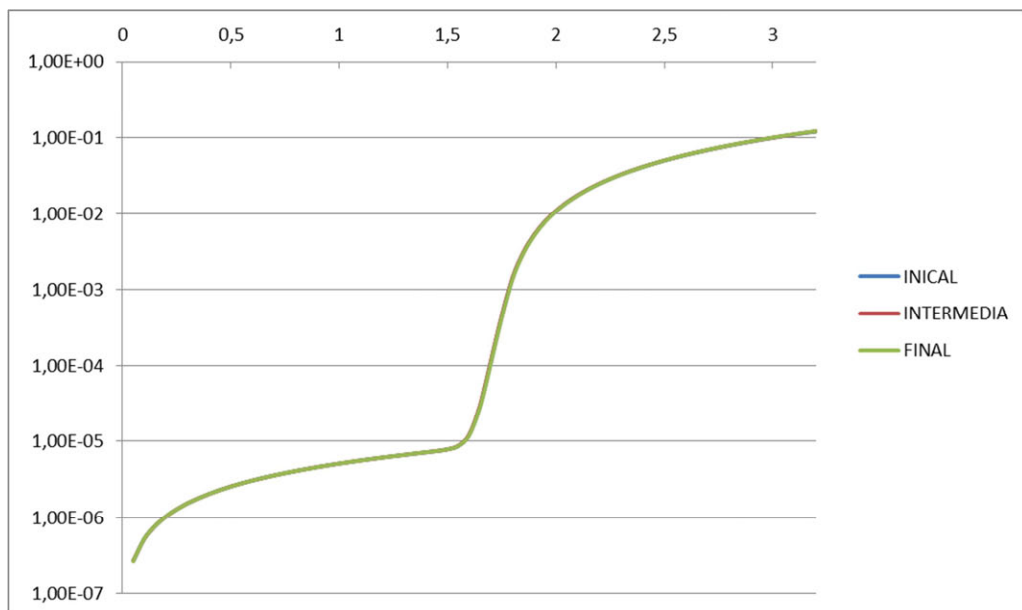


Figura 5.33: Curva I/V Externa. LED 2 – 0 mA.

➤ 10 mA – LED 5

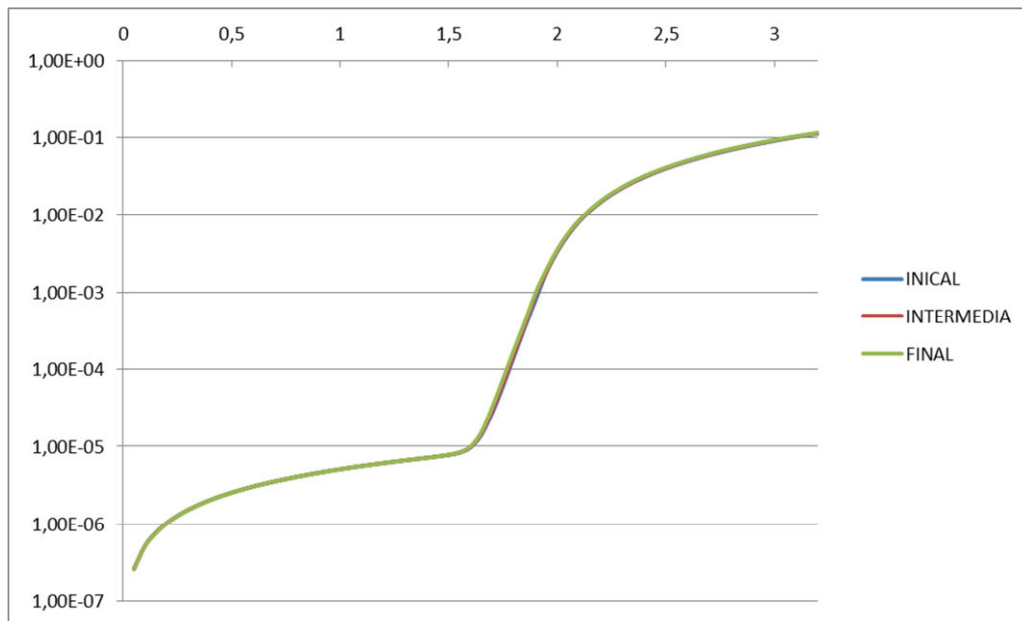


Figura 5.34: Curva I/V Externa. LED 5 – 10 mA.

➤ 10 mA – LED 6

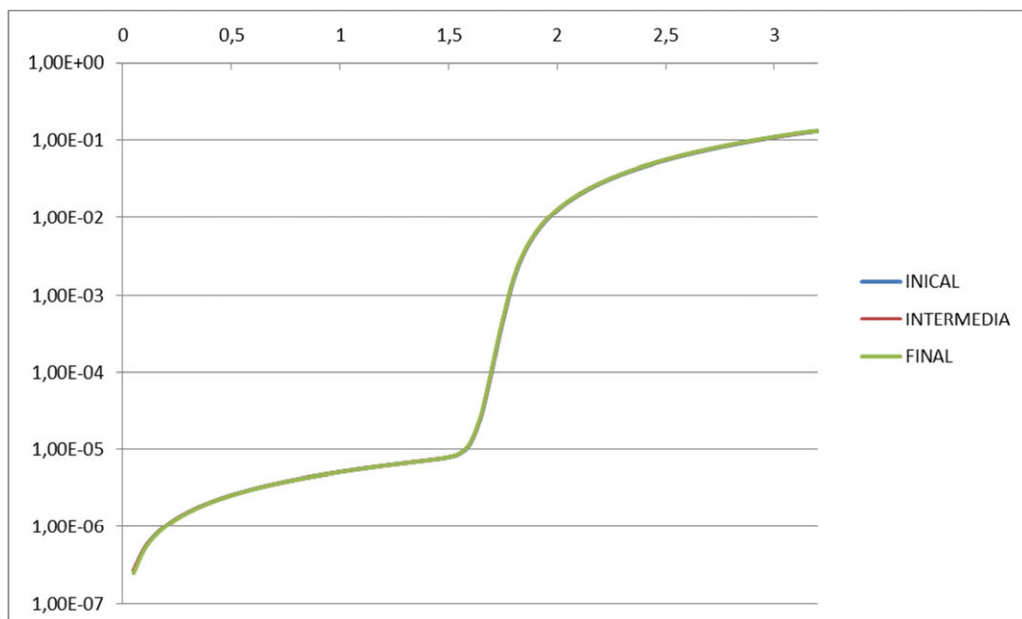


Figura 5.35: Curva I/V Externa. LED 6 – 10 mA.

➤ 20 mA – LED 2

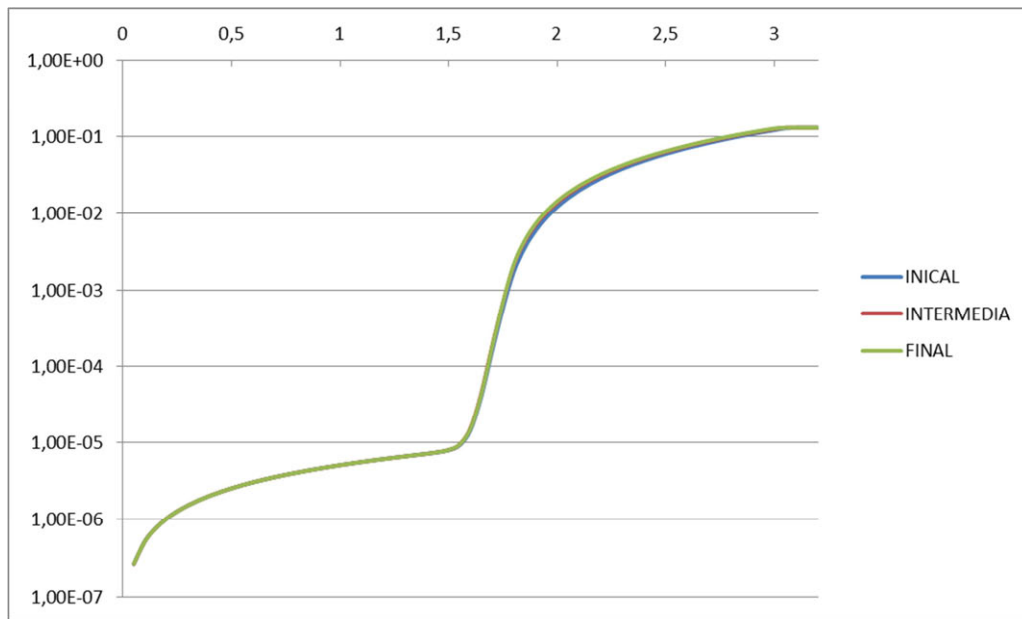


Figura 5.36: Curva I/V Externa. LED 2 – 20 mA.

➤ 20 mA – LED 3

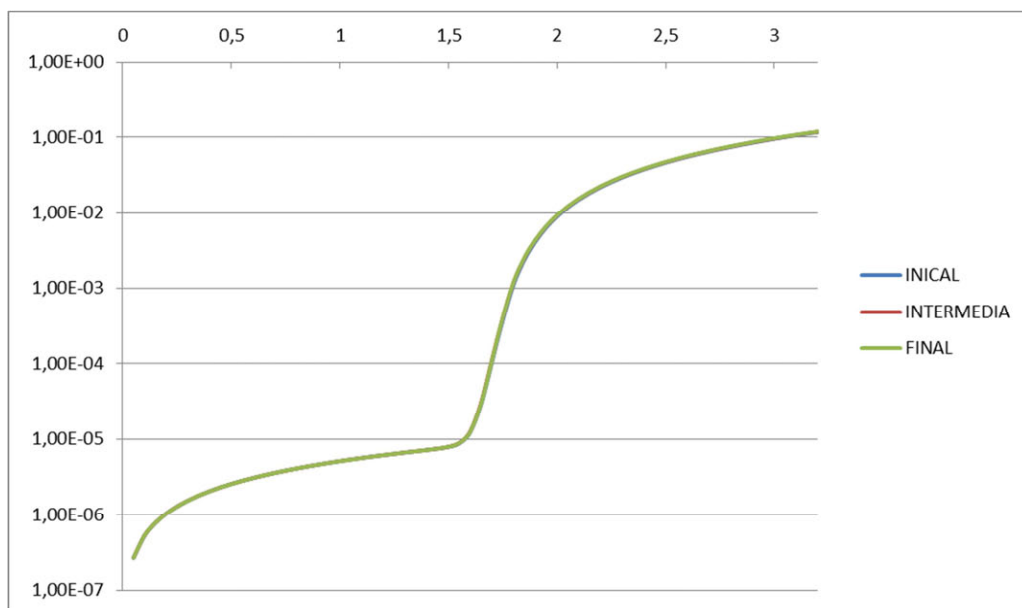


Figura 5.37: Curva I/V Externa. LED 3 – 20 mA.

➤ 40 mA – LED 6

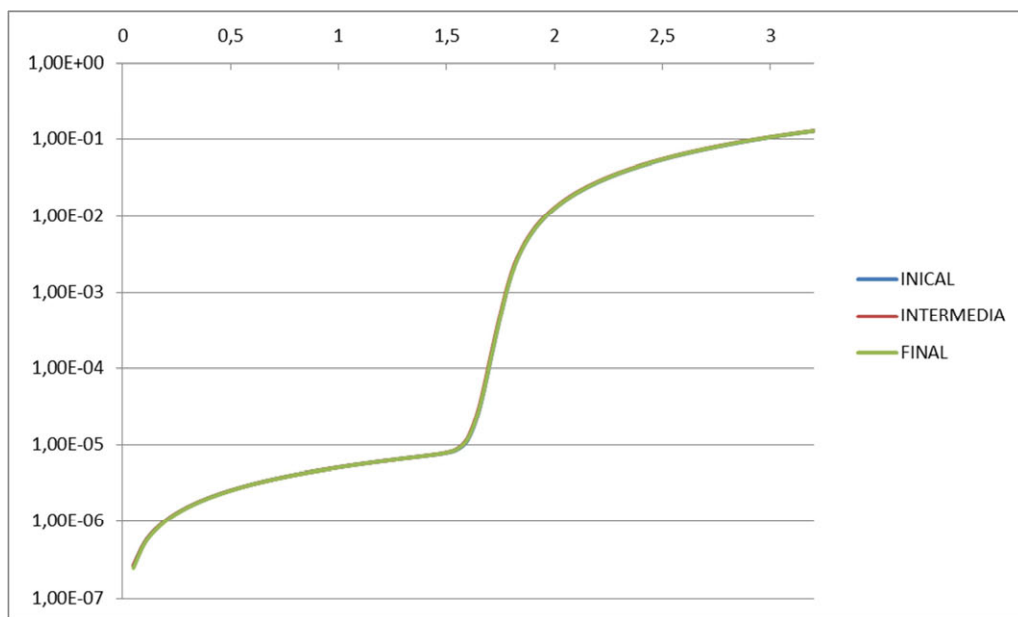


Figura 5.38: Curva I/V Interna. LED 6 – 40 mA.

➤ 40 mA – LED 7

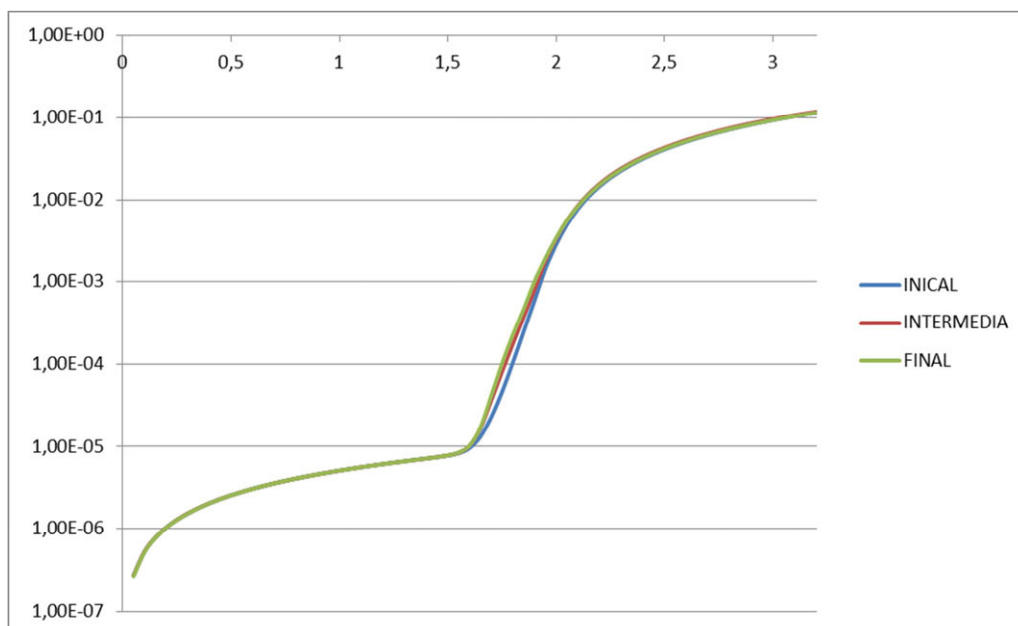


Figura 5.39: Curva I/V Interna. LED 5 – 40 mA.

Con las gráficas representadas para este tipo de medida, se observa que la evolución de la curva I/V fuera de la cámara climática en ambiente controlado no ha presentado prácticamente variaciones (casi inexistentes) entre las

medidas. Debido a que en las curvas I/V solo se observan la degradación del chip, se puede concluir que este prácticamente no se ha degradado.

5.6 CONCLUSIONES CAPÍTULO 5

En este capítulo se han presentado de forma resumida los cuatro tipos de medidas que se han tomado a lo largo del PFC, se han mostrado sus valores más representativos y se los ha descrito mediante gráficas.

La medida que más ha caracterizado a estos valores ha sido la realizada con el medidor óptico; ha permitido observar la progresión de los LEDs y su variación de potencia de una manera rápida y fiable.

De las medidas obtenidas se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- En todos los casos la potencia óptica de los LEDs aumenta en un principio para después irse degradando.
- Se ha observado que el nivel de inyección de corriente afecta de forma importante a la degradación del LED. Los LEDs que han estado funcionando a 40 mA se han degradado significativamente más que los LEDs de 10 y 20 mA.
- Del espectro de potencia se ha observado que la degradación de la potencia óptica va acompañado de una reducción y de un pequeño ensanchamiento del pico de potencia del espectro.
- La evolución de la curva I/V en exterior a lo largo del ensayo es muy pequeña, lo que demuestra que el chip del LED no ha sido prácticamente degradado.

Capítulo 6

Conclusiones

6. CONCLUSIONES

En este PFC se evalúa la fiabilidad de LEDs mediante la realización de ensayos acelerados. Estos ensayos se han realizado bajo unas condiciones ambientales aceleradas determinadas e inyectando distintos valores de corriente en su fase de degradación.

Ha sido necesario fabricar un circuito formado por dos placas de base de fibra de vidrio resistente a altas temperaturas para dar soporte a los LEDs. Se han distribuido en tiras con alimentaciones independientes para poder inyectar distintos niveles de corriente.

La corriente nominal de estos LEDs es de 20 mA, por lo que se han fijado niveles en torno a este valor de corriente: una tira de 3 LEDs de 0 mA por la que no circula corriente y únicamente sufrirá una degradación ambiental, una tira de 10 LEDs de 10 mA para tener una referencia de corriente menor a la nominal, una tira de 10 LEDs de 20 mA para una degradación a la corriente habitual recomendada, y una tira de 10 LEDs de 40 mA, el doble de la corriente nominal. El objetivo de tener esta variedad de niveles de corriente, es observar las diferencias obtenidas a la finalización de los ensayos a causa de este esfuerzo.

Las condiciones ambientales fijadas para la cámara climática son de 85° C y 85% HR. El tiempo total al que han estado expuestos los LEDs a estas condiciones de degradación ambientales y de inyección de corriente es de 1270 horas.

Se han realizado cuatro tipos de medidas: una realizada en el interior de la cámara climática y otras tres en el exterior, hechas a una temperatura ambiente controlada. El objetivo de todas estas medidas es analizar la degradación sufrida por los LEDs a lo largo del transcurso del ensayo.

A continuación se detallan las conclusiones principales obtenidas:

- No ha habido ningún fallo catastrófico ni por degradación, es decir, ningún LED ha dejado de funcionar ni ha llegado a degradarse un 30%, lo que sugiere una gran fiabilidad de estos dispositivos bajo estas condiciones.
- En el comportamiento con el tiempo se pueden observar dos tendencias significativas:
 - La potencia luminosa aumenta con respecto a la potencia luminosa inicial en las primeras horas de funcionamiento. A este fenómeno se le conoce por el nombre de “annealing”.

- Después de este aumento inicial de potencia, la potencia luminosa empieza a decaer siguiendo una función exponencial. Esta trayectoria se puede observar mejor en los LEDs de la tira de 40 mA, en el resto de tiras la potencia empezaba a descender al final de la realización del ensayo.
- Analizando la degradación de los LEDs en función de la corriente inyectada:
- Para la tira de LEDs de 0 mA, la degradación que se observa es muy leve, producida únicamente por las condiciones de esfuerzo ambientales. Esta degradación ha seguido una trayectoria constante y ligeramente descendente, acabando el ensayo con valores muy cercanos a los iniciales.
 - Las tiras de LEDs de 10 y 20 mA presentan trayectorias muy similares, observando una potencia luminosa mayor en la de 10 mA. A la finalización del ensayo apenas ningún LED ha reducido su potencia luminosa respecto a la potencia inicial, lo que significa que la degradación sufrida es prácticamente nula.
 - La tira de LEDs de 40 mA presenta una degradación mucho mayor que en el resto. La mayoría de los LEDs de esta tira finalizan el ensayo mostrando una potencia luminosa inferior a la inicial; en los peores casos, han llegado hasta un 25% de degradación.
- La degradación sufrida por la inyección de corriente únicamente es apreciable en la tira de LEDs que duplica la corriente nominal. Se puede afirmar que si estos dispositivos trabajan a una intensidad superior a la nominal, la degradación será mucho mayor.
- Las medidas de potencia luminosa, de espectro emitido y de las curvas I/V realizadas en el interior de la cámara climática, coinciden en el análisis de sus valores, es decir, coinciden las conclusiones de evolución y degradación de los valores obtenidos. Aunque midan parámetros distintos, todos ellos están relacionados con su funcionamiento y su degradación, por lo que su coincidencia cobra mucho sentido.
- Las medidas de curvas I/V realizadas en el exterior en ambiente controlado, apenas muestran diferencia entre las medidas iniciales y las finales, lo que implica que la degradación del chip es prácticamente nula.
- Las condiciones ambientales no han sido suficientemente duras como para observar degradación de los dispositivos a causa de este esfuerzo. Los LEDs utilizados en estos ensayos resisten muy cómodamente una humedad relativa alta y una temperatura no excesivamente elevada, dentro del rango de temperatura de funcionamiento admitida. Por su resistencia ante estas

condiciones, se podría decir que son altamente fiables para trabajar tanto en entornos costeros o tropicales, donde la humedad relativa es muy alta, como en zonas muy cálidas.

- Los LEDs utilizados comienzan a degradarse por el envejecimiento del encapsulado. Con el tiempo esta degradación se transmitirá al chip del dispositivo, es decir, se convertirá en degradación eléctrica.
- Resalta la gran fiabilidad y robustez de los LEDs de AlInGaP en las condiciones descritas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO INTRODUCCIÓN LEDS

- Krames MR, Shchekin OB, Mueller-Mach R, Mueller GO, Zhou L, Harbers G, et al. Status and future of high-power light-emitting diodes for solid-state lighting. J Disp Technol 2007; 3:160–75.
- Steigerwald DA, Bhat JC, Collins D, Fletcher RM, Holcomb MO, Ludowise MJ, et al. Illumination with solid state lighting technology. IEEE J Sel Top Quant Electron 2002; 2:310–20.
- Steranka FM, Bhat J, Collins D, Cook L, Craford MG, Fletcher R, et al. High power LEDs – technology status and market applications. Phys Status Solidi A 2002; 194:380–8.
- Schubert EF, Kim JK, Luo H, Xi J-Q. Solid-state lighting-a benevolent technology. Rep Prog Phys 2006;69: 3069–99.

CAPÍTULO FIABILIDAD

- Practical Reliability Engineering Patrick O'Connor Wiley, 08/07/2002 - 540 páginas.
- Life Cycle Reliability Engineering Guangbin Yang John Wiley & Sons, 02/02/2007 - 517 páginas.
- Design for Reliability Dana Crowe, Alec Feinberg CRC Press, 30/04/2001 - 256 páginas.
- Statistics and Probability Letters 78 (2008) 2971-2975.
- Distribución de Weibull - <http://www.weibull.com>

CAPÍTULO RESULTADOS

- Moon-Hwan Chang , Diganta Das , P.V. Varde , Michael PechtLight emitting diodes reliability review Microelectronics Reliability, Volume 52, Issue 5, May 2012, Pages 762–782
- Nogueira E, Vázquez M, Núñez N. Evaluation of AlGaInP LEDs reliability based on accelerated tests. Microelectron Reliab 2009;49:1240–3.
- Vázquez M, Núñez N, Nogueira E, Borreguero A. Degradation of AlInGaP red LEDs under drive current and temperature accelerated life tests. Microelectron Reliab 2010; 50:1559–62.

